

# Исследование связи боковых кренов двухосных прицепов с их поперечными горизонтальными колебаниями

Канд. техн. наук А. В. ЖУКОВ, Л. И. КАДОЛКО,  
К. Б. АБРАМОВИЧ, А. М. ОЛЕШКО

Белорусский технологический институт, Минский автозавод

Обычно поперечные горизонтальные колебания звеньев автопоезда (влияние) не связывают с их колебаниями в поперечной вертикальной плоскости (боковые крены). Однако между этими двумя видами колебаний имеется существенная связь.

Влияние двухосных прицепов рассматривается в работе [1] и др., однако при этом не учитывается поддресоривание прицепов и боковые крены в поперечной вертикальной плоскости.

Расчетная схема влияния двухосного прицепа с учетом поперечно-угловых колебаний его поддресоренной массы приведена на рис. 1. На схеме прицеп представлен в виде двухмассовой системы; поддресоренная масса  $M_C$  сосредоточена в точке  $C$  на высоте  $h_C$  от опорной поверхности. Угол бокового крена поддресоренной массы прицепа обозначен  $\beta$ . Масса передней тележки условно отнесена к массе  $M_C$ .

Предполагаем, что движение точки сцепки является прямолинейным, и поступательное движение автопоезда — установившимся. В горизонтальной плоскости продольная ось прицепа отклоняется на угол  $\varphi_2$ . Кроме  $\varphi_2$ , за обобщенные координаты принято также поперечное отклонение прицепа  $x$  и отклонение  $x_C$  проекции на опорную плоскость точки  $C'$  при крене массы  $M_C$  на угол  $\beta$ .

Отклонение  $x_C$  связано с угловыми перемещениями массы прицепа зависимостью

$$x_C = L_1 \varphi_1 + a \varphi_2 - \beta H,$$

где  $L_1$  — длина дышла прицепа;  
 $H$  — радиус крена.

При выводе выражений обобщенных сил, действующих на оси, учтен кинематический увод. Выражение обобщенных сил имеет вид

$$\left. \begin{aligned} \lambda_1 &= -\frac{2f_p}{Hl_p} (k_2 b - k_1 a) x - \frac{2f_p}{Hl_p} (k_1 a - k_2 b) x_C; \\ Q_2 &= -\frac{k_1 a^2 + k_2 b^2}{v_0} \dot{\varphi}_2 - \left( \frac{k_1 a^2}{L_1} + k_2 b \right) \varphi_2 - \\ &- \frac{k_2 b - k_1 a}{v_0} \dot{x} - \left[ \frac{2f_p}{Hl_p} (k_2 b - k_1 a) - \frac{k_1 a}{L_1} \right] x - \\ &- \frac{2f_p}{Hl_p} (k_1 a - k_2 b) x_C, \end{aligned} \right\} (1)$$

где  $k_1$  и  $k_2$  — коэффициенты сопротивления боковому уводу передней и задней осей прицепа;  
 $f_p$  — расстояние от оси колеса до оси ушка рессоры;  
 $l_p$  — длина рессоры;  
 $v_0$  — скорость движения автопоезда.

При разработке динамической модели прицепа, кроме указанных ранее, сделаны также следующие допущения: характеристики подвески — линейны, зазоры и упругие элементы в дежном устройстве отсутствуют, бокового скольжения шин не происходит.

С учетом принятых допущений на основании принципа Лагранжа с использованием выражений (1) получены дифференциальные уравнения движения системы, которые после преобразования представляются в следующем виде:

$$\begin{aligned} v_0 \ddot{x} + d_1 \dot{x} + v_0 \beta_1 x + \gamma_1 \ddot{\varphi}_2 + v_0 \epsilon_1 \varphi_2 + v_0 \xi \dot{x}_C + v_0 d_1 x_C &= 0; \\ v_0 \ddot{\varphi}_2 + a_2 \dot{\varphi}_2 + v_0 \beta_2 \varphi_2 + \gamma_2 \dot{x} + v_0 \epsilon_2 x + v_0 d_2 x_C &= 0; \\ \ddot{x}_C + d_3 \dot{x}_C + \beta_3 x_C + \gamma_3 \dot{\varphi}_2 + \epsilon_3 x &= 0. \end{aligned} \quad (2)$$

Постоянные коэффициенты  $\alpha_{1-3}$ ,  $\beta_{1-3}$ ,  $\gamma_{1-3}$ ,  $\xi$ ,  $d_{1,2}$ , входящие в уравнения (2), зависят от параметров системы.

Связь между влиянием прицепа и его поперечным креном определяется коэффициентами  $\beta_1$ ,  $\xi$ ,  $d_1$ ,  $\alpha_3$ ,  $\beta_3$ ,  $\gamma_3$  и  $\epsilon_3$ , включающими приведенные коэффициенты поперечной жесткости и сопротивления подвески прицепа [1].

Из уравнений (1) на основании теоремы Гурвица [2, 3] можно получить необходимые и достаточные условия устойчивости движений, из которых определяются значения критических скоростей.

Пользуясь критерием Гурвица, в данном случае можно исследовать влияние качества поддресоривания двухосного прицепа на изменение критических скоростей движения автопоезда.

Путем решения уравнений (2) с использованием ЭЦВМ «Минск-22» было проанализировано влияние коэффициентов жесткости и сопротивления в подвеске двухосных прицепов МАЗ-5210К и макетного образца прицепа МАЗ-8378 на изменение критической скорости движения  $v_{кр}$ .

Зависимость скорости  $v_{кр}$  от вертикальной жесткости рессор  $C_p$  приведена на рис. 2. Из этих графиков видно, что уменьшение жесткости подвески приводит к увеличению критических скоростей движения автопоездов. Это наиболее заметно при меньших значениях  $C_p$ . Начиная от значений  $C_p > 1200$  кгс/см, влияние жесткости подвески на  $v_{кр}$  становится малым.

При изменении коэффициента сопротивления в подвеске  $K_n$  характер кривых сохраняется, однако соотношение величин  $C_p$  и  $v_{кр}$  изменяется. При увеличении  $K_n$  кривые сдвигаются в сторону больших скоростей. Влияние сопротивления в подвеске особенно заметно при малых ее жесткостях. Коэффициент  $K_n$  при расчетах варьировался в пределах 5—60 кг·сек/см.

Проведенные расчетно-теоретические работы указывают, что между влиянием прицепа и боковыми кренами его поддресоренных масс существует связь. Установлено, что параметры прицепа, улучшающие его поперечную устойчивость в вертикальной плоскости, положительно влияют также и на снижение амплитуд поперечных горизонтальных отклонений (влияний).

Устойчивость движения двухосного прицепа ухудшается с увеличением высоты центра тяжести, а также при уменьшении рессорной и колесной колеи. Повышение коэффициента сопротивления в подвеске и уменьшение ее жесткости улучшают устойчивость двухосного прицепа. Это подтверждает выводы Я. Х. Закина [1], сделанные для одноосного прицепа.

Изложенная методика позволяет учесть связь влияния и боковых кренов прицепа с помощью параметров его подвески. Для дальнейшего изучения этой связи были проведены экспериментальные исследования.

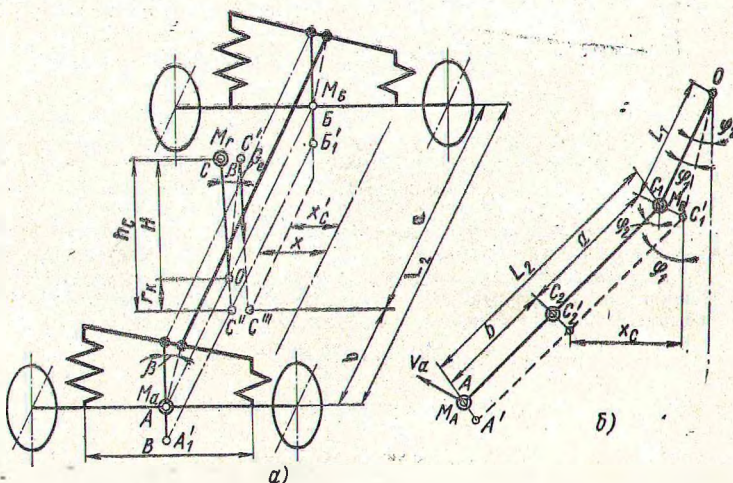


Рис. 1. Расчетная схема влияния двухосного прицепа с учетом углов бокового крена:  
а — схема отклонения масс; б — схема в пространственном изображении (без показа дышла и без привязки к координатным осям)

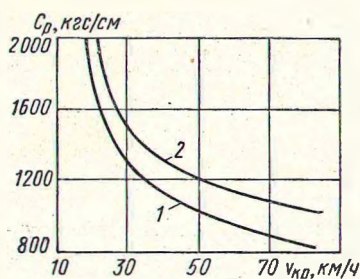


Рис. 2. Зависимость скорости  $v_{кр}$  от  $C_p$ :  
1 — прицеп МАЗ-5210К; 2 — прицеп МАЗ-8378

и дышла, деформации рессор задней оси прицепа, его боковой крен. Боковой крен прицепа и отклонения элементов автопоезда в горизонтальной плоскости записывались с помощью гироскопов, деформации рессор и отклонения рулевого колеса реохордными датчиками (отклонения рулевого колеса записывались с целью контроля прямолинейности траектории тягача). Испытания проводились на ровных горизонтальных участках дорог с асфальтобетонным покрытием. Программой предусматривалось проведение опытов на дороге с переездом искусственных неровностей и без них.

Неровности синусоидальной формы высотой 3,5 и 10 см и длиной 1,5 м располагались в линию и чередовались по высоте.

Движение на опытном участке осуществлялось на установившихся режимах после разгона автопоезда до необходимой скорости. На рис. 3 приведен образец осциллограммы с записью регистрируемых процессов.

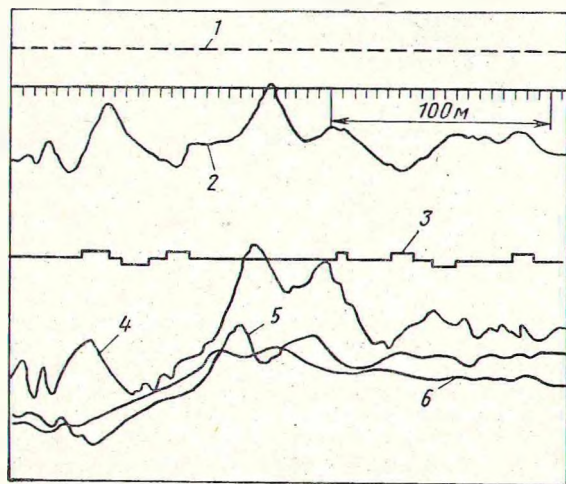


Рис. 3. Образец осциллографической записи регистрируемых процессов при движении автопоезда с прицепом МАЗ-5210К с нагрузкой 12 тс (скорость 40 км/ч):

1 — время; 2 — угол крена прицепа; 3 — рулевое колесо; 4 — прицеп; 5 — дышло; 6 — тягач

Из приведенных записей видно, что боковые крены прицепа сопровождаются поперечными отклонениями элементов автопоезда в горизонтальной плоскости, причем наибольшая связь указанных перемещений относится к отклонениям продольной оси прицепа (кривая  $\varphi_2$ ), отклонения дышла и особенно тягача

являются менее выраженными. Это особенно заметно при резких боковых кренах прицепа, например, при переезде колесами одного борта прицепа искусственных неровностей.

На рис. 4 показана зависимость характерных углов отклонения продольной оси прицепа  $\varphi_2$  от угла крена  $\beta$ . Записи, использованные для построения графиков, получены на ровном асфальтобетонном участке пути без искусственных неровностей. Из графиков видно, что при больших отклонениях усиливается связь между  $\varphi_2$  и  $\beta$ . Для зависимостей  $\varphi_2 = f(\beta)$  коэффициенты корреляции  $K_{\varphi\beta}$  изменяются в пределах 0,551—0,795.

в качестве объектов использовали автопоезда в составе: тягач МАЗ-510А с прицепом МАЗ-5210К и тягач МАЗ-510А с прицепом МАЗ-8378.

Регистрирующая аппаратура располагалась в кабине тягача. Процессы записывались с помощью осциллографа КД-9. На осциллограмму регистрировались следующие параметры: путь, время, отклонения рулевого колеса от нейтрального положения, угловое отклонение продольной оси тягача, прицепа

и тягача. Из графиков видно, что при больших отклонениях усиливается связь между  $\varphi_2$  и  $\beta$ . Для зависимостей  $\varphi_2 = f(\beta)$  коэффициенты корреляции  $K_{\varphi\beta}$  изменяются в пределах 0,551—0,795.

Интенсивность их возрастания для всех скоростей движения примерно одинакова, кроме скорости 70 км/ч, при которой связь между  $\varphi_2$  и  $\beta$  заметно слаба. Точки, соответствующие данной скорости движения, группируются в одном месте без ясно выраженной зависимости. Это остается необъяснимым и требует дополнительных исследований.

При переезде искусственных неровностей, а также при разных скоростях движения угол  $\varphi_2$  увеличивается с возрастанием угла крена  $\beta$ , однако неодинаково при разных скоростях. Исследования показали, что для прицепа МАЗ-5210К с нагрузкой наибольшая связь между  $\varphi_2$  и  $\beta$  наблюдается при скорости 30—40 км/ч.

Характерно, что критическая скорость  $v_{кр}$  для прицепа МАЗ-5210К лежит в этих пределах, как установлено расчетным путем и экспериментально.

Опытные данные указывают на то, что характер связи между углами крена и угловыми отклонениями прицепа в горизонтальной плоскости является аналогичным при движении по ровному участку шоссе и при переезде искусственных неровностей. Однако при переезде искусственных неровностей возникают резкие выбросы, частота колебаний которых гораздо больше, чем частота отклонений прицепа при движении на ровных участках.

Сказанное также касается макетного образца прицепа МАЗ-8378. Однако в отличие от прицепа МАЗ-5210К наибольшая связь между  $\varphi_2$  и  $\beta$  наблюдается не при скоростях 30—40 км/ч, а при  $v=10$  км/ч. При  $v>10$  км/ч интенсивность возрастания  $\varphi_2$  с увеличением  $\beta$  в среднем одинакова.

Таким образом, между боковыми кренами прицепов и их поперечными горизонтальными отклонениями существует связь. Интенсивность этой связи зависит от скорости движения автопоезда и его параметров (особенно параметров подвески). Расчет влияния прицепов должен выполняться с учетом его поддрессирования.

Для улучшения горизонтальной устойчивости автопоездов полезно повышение их устойчивости против боковых кренов в вертикальной плоскости. При проектировании данные вопросы необходимо рассматривать во взаимосвязи друг с другом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Закин Я. Х. Прикладная теория движения автопоезда. Изд-во «Транспорт», 1967.
2. Колесников К. С. Автоколебания управляемых колес автомобиля. ГИТТЛ, 1955.
3. Курош А. Г. Курс высшей алгебры. Гостехиздат, 1952.

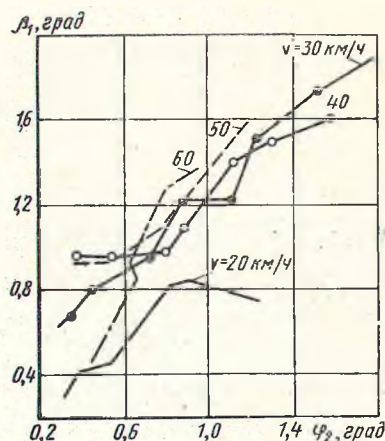


Рис. 4. Зависимость  $\varphi_2$  и  $\beta$  для прицепа МАЗ-5210К (нагрузка 12 тс) при движении автопоезда по асфальтобетонному шоссе