

А. В. Жуков

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ БОКОВОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПОЛУПРИЦЕПОВ МИНСКОГО АВТОЗАВОДА

При проектировании автопоездов оценка поперечной боковой устойчивости их звеньев является обязательной. На поперечную устойчивость автопоезда оказывают влияние такие факторы, как скорость движения, степень ровности покрытия дорог, конструктивные особенности и параметры подвески тягача, прицепа или полуприцепа. Оценка влияния указанных факторов на поперечную устойчивость (статическую или динамическую) автопоездов различного типа может быть осуществлена по методике, описание которой приведено в работе [1].

По данной методике, основанной на использовании амплитудных частотных характеристик объектов, были проведены исследования поперечной устойчивости различных типов полуприцепов Минского автомобильного завода. Ниже приведены некоторые результаты этих исследований для одноосного, двухосного и трехосного прицепов.

Общие параметры полуприцепов даны в табл. 1.

Согласно расчетной схеме [1], принятой при исследованиях, параметры подвески автопоезда считались линейными, поперечно-угловые колебания тягача и полуприцепа рассматривались во взаимной связи. Вычисления произведены на ЭЦВМ "Минск-22".

Остановимся сначала на одноосном полуприцепе (число осей полуприцепа  $m=1$ ), тягач МАЗ-504 — двухосный (число осей тягача  $n=2$ ).

В связи с тем, что в учет приняты воздействия от неровностей дороги как на ось тягача, так и на ось полуприцепа (т.е. имеется запаздывание воздействия на оси), кривые коэффициента динамичности  $k_d$  для разных скоростей

Таблица 1

Основные параметры полуприцепов

Наименование параметров	Параметры полуприцепов		
	одноосных	двухосных	трехосных
1. Величина подрессоренных масс, кг	16500	23000	23000
2. Величина неподресоренных масс, кг	1300	2200	2200
3. Высота центра тяжести, мм	1650	1615	1615
4. Рессорная колея, мм	1026	870	870
5. Колесная колея, мм	1865	1865	1865
6. База, мм	5630	5540	5540
7. Высота седельного устройства, мм	1100	1100	1100
8. Расстояние от оси сцепного шкворня до осей:			
первой	5630	4840	4140
второй		6240	5540
третьей			6940

движения будут различны. На рис.1 приведены зависимости коэффициента динамичности боковых кренов  $k_y$  от частоты  $\omega$  при разных скоростях движения.

Как видно из графиков, кривые  $k_y$  имеют не один, а несколько максимумов. Наличие максимумов объясняется запаздыванием воздействия. Как правило, наибольшую амплитуду имеет первый максимум, который проявляется при частоте, близкой к собственной частоте поперечно-угловых колебаний полуприцепа.

Расстояние между максимумами при увеличении скорости движения увеличивается. С возрастанием скорости движения время прохождения автопоездом расстояния между осями уменьшается, следовательно, снижается влияние на коэффициент  $k_y$  запаздывания воздействием, и кривая  $k_y = f(\omega)$  становится более плавной. Так, уже при  $v = 60$  км/ч характер изменения коэффициента динамичности в зависимости от частоты близок к аналогичной кривой для одноосного полуприцепа без учета запаздывания воздействия.

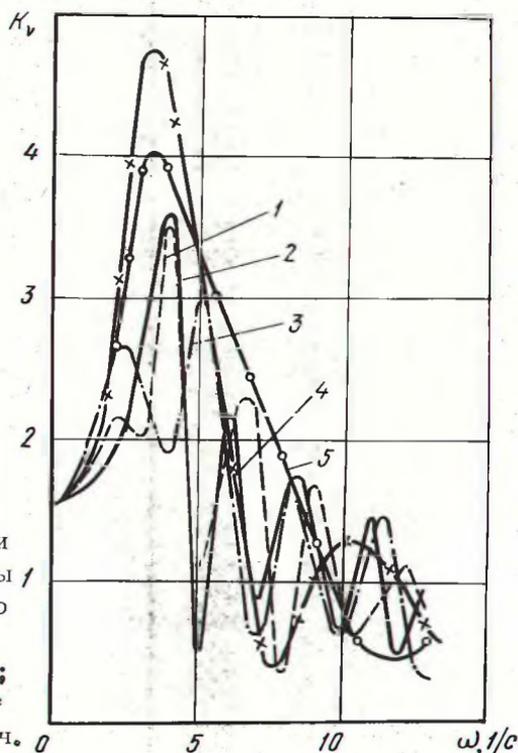


Рис. 1. Кривые зависимости коэффициента  $k_v$  от частоты  $\omega$  воздействия для одноосного полуприцепа: 1—  $v = 10$  км/ч; 2—  $v = 15$  км/ч; 3—  $v = 20$  км/ч; 4—  $v = 40$  км/ч; 5—  $v = 60$  км/ч.

Из анализа полученных данных очевидно, что наиболее опасными для исследуемого одноосного полуприцепа (МАЗ-5210) являются малые частоты — от 3 до 5 1/с. Для скоростей движения от 10 до 60 км/ч резонансная частота находится в пределах 3—4 1/с. При  $v = 5$  км/ч  $\omega_{рез} = 2,8$  1/с, а для  $v = 20$  км/ч  $\omega = 5$  1/с. Установлено, что значительное влияние на максимальные значения коэффициента динамичности боковых кренов оказывают скорости движения. Так, при  $v = 10$ —15 км/ч  $k_v$  изменяется от 3,5 до 3,62 на максимальном резонансном режиме.

При малых скоростях движения  $k_{vmax}$  меньше (при  $v = 5$  км/ч  $k_{vmax} = 2,35$ ). Если  $v = 20$  км/ч, то при этом наблюдается некоторый спад, а с дальнейшим возрастанием скорости движения  $k_{vmax}$  опять увеличивается (см. рис. 2, кривая 1); после скорости 35 км/ч значения  $k_{vmax}$  уменьшаются.

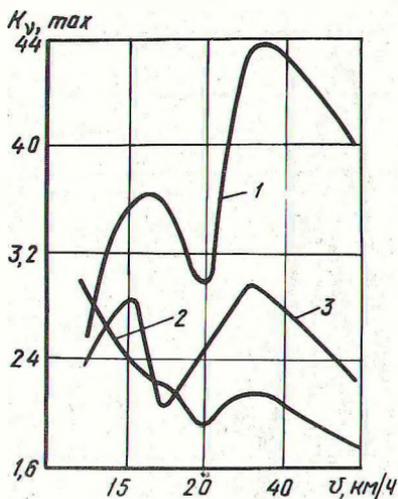


Рис. 2. Зависимости  $k_{y, max}$  от скорости движения автопоезда: 1 — одноосный полуприцеп; 2 — двухосный полуприцеп; 3 — трехосный полуприцеп.

С увеличением частоты воздействия значения  $k_y$  снижаются и при  $\omega = 30$  1/с для всех скоростей движения находятся в пределах 0,2—0,4.

При длине неровности синусоидальной формы, равной 1 м, угол, образованный неровностью высотой 15 см, составляет  $4^{\circ} 36'$ . Угол статического крена, не зависящий от скорости движения, равен  $8^{\circ} 18'$  ( $k_{ст} = 1,55$ ). При  $v = 5$  км/ч частота воздействия от неровностей дороги составляет 8,6 1/с. Этой же частоте при  $v = 5$  км/ч соответствует коэффициент динамичности  $k_y$ , равный 1,1, следовательно, угол динамического крена  $\varphi$  при  $v = 5$  км/ч равен  $5^{\circ} 6'$ . При дальнейшем увеличении скорости движения  $\varphi$  будет уменьшаться, так как увеличивается частота воздействия. Так, при  $v = 30$  км/ч  $\omega = 52$  1/с, что соответствует  $k_y = 0,12$  и, следовательно, угол динамического крена будет равен всего  $30'$ .

Для рассматриваемого автопоезда (МАЗ-504+5210) наиболее опасны длинные неровности. Так, при  $v = 15$  км/ч нежелательной частотой будет  $\omega = 4$  1/с. Это соответствует длине неровностей, равной 6,45 м. В этом случае угол динамического крена составил  $16^{\circ} 30'$ , что уже является опасным. Значительный боковой крен полуприцепа может произойти и при неровностях меньшей длины. При  $v = 5$  км/ч наибольший боковой крен происходит при движении по неровностям длиной 2,85 м. В этом случае угол крена равен  $9^{\circ} 48'$ .

Таким образом, в рассматриваемых исходных условиях полуприцеп МАЗ-5210 имеет хорошую поперечную динамическую устойчивость, которая с увеличением скорости движения автопоезда уменьшается. Коэффициент  $k_{\nu}$  при длине неровности 1 м и скоростях движения 5, 10, 20, 30 км/ч равен соответственно 1,1; 0,78; 0,35; 0,25. С дальнейшим увеличением скорости движения автопоезда  $k_{\nu}$  изменяется в пределах всего 0,30—0,15. С увеличением числа осей характер изменения коэффициента  $k_{\nu}$  также носит периодический характер, сложно меняясь с увеличением частоты  $\omega$ . На рис. 3 приведены зависимости коэффициента динамичности боковых кренов для двухосного (кривые 5, 6, 7, 8) и трехосного (кривые 1, 2, 3, 4) полуприцепов при движении автопоезда со скоростями 30, 40, 50 и 60 км/ч.

Анализ графиков  $k_{\nu}=f(\omega)$  показывает, что с увеличением скорости движения автопоезда максимальные значения  $k_{\nu}$  уменьшаются. Остановимся сначала на двухосном прицепе.

При  $\nu=5$  км/ч коэффициент динамичности  $k_{\nu\max}$  равен 2,85, а при  $\nu=60$  км/ч  $k_{\nu\max}=1,78$ , т.е. значительно меньше. С увеличением скорости движения максимумы сдвигаются в сторону больших частот. Частота резонансных  $\gamma$  перечно-угловых колебаний полуприцепа изменяется от 3 до 5 1/с. При частоте 30 1/с коэффициент  $k_{\nu}$  для всех скоростей движения изменяется в пределах от 0,2 до 0,8.

Для случая движения автопоезда через неровности высотой 10 см и длиной 1 м со скоростью 5, 10 и 15 км/ч коэффициент  $k_{\nu}$  соответственно равен 1,2; 0,35; 0,2. Угол динамического крена в этом случае соответственно составляет  $5^{\circ}30'$ ;  $1^{\circ}36'$ ;  $0^{\circ}54'$ . Коэффициент статического крена для рассматриваемого полуприцепа равен 1,13, что соответствует углу статического крена  $5^{\circ}12'$ .

Анализ данных исследований показывает, что увеличение числа осей полуприцепа, как, впрочем, и любой другой колесной транспортной системы при той же базе, приводит к уменьшению времени запаздывания воздействия, так как сокращается расстояние между осями. Поэтому для рассматриваемого полуприцепа по сравнению с полуприцепом МАЗ-5210, особенно при больших скоростях движения, кривые  $k_{\nu}=f(\omega)$  имеют более плавный характер.

Для трехосного прицепа это является еще более характерным, что видно из рис. 3 (кривые 1, 2, 3, 4).

Максимальные значения коэффициента  $k_{\nu}$  для данного полуприцепа проявляются при скорости 10 и 30 км/ч и равны

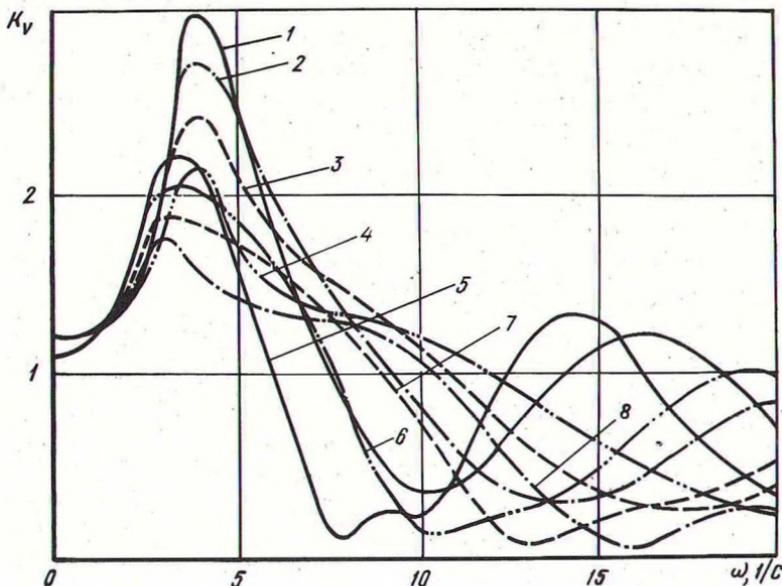


Рис. 3. Кривые зависимости коэффициента  $k_v$  от частоты воздействия для двухосного (5, 6, 7, 8) и трехосного (1, 2, 3, 4) полуприцепов: 1, 5 —  $v = 30$  км/ч; 2, 6 —  $v = 40$  км/ч; 3, 7 —  $v = 50$  км/ч; 4, 8 —  $v = 60$  км/ч.

соответственно 2,93 и 3,2. Коэффициент статического крена составляет 1,22. Исследования показали, что наиболее опасными являются длинные неровности. Так, при  $v = 10$  км/ч резонансная длина неровности равна 3,44 м, при  $v = 5$  км/ч  $L_{н рез} = 2,15$  м. С увеличением скорости движения резонансные длины неровностей возрастают. Например, при  $v = 30$  км/ч резонансная длина неровности равна 12,9 м, угол динамического крена в этом случае составляет  $14^{\circ} 36'$ . Для выяснения влияния параметров автопоезда на поперечную устойчивость полуприцепа были произведены расчеты для разных вариантов параметров.

Установлено, что значительное изменение характера кривых  $k_v = f(\omega)$  при изменении базы полуприцепа наблюдается при значениях частот от 6 до 20 1/с. Амплитуда изменения коэффициента динамичности боковых кренов на различных частотах различна. На частоте наибольшего максимума для полуприцепа МАЗ-5210 амплитуда  $k_v$  при изменении  $L_2$

от 3,2 до 6 м меняется незначительно. На резонансных частотах 16 и 30 1/с наименьшие значения наблюдаются при  $L_2 = 4$  м. Если  $\omega = 10$  1/с,  $k_v$  с увеличением  $L_2$  плавно возрастает. Учитывая, что при  $v = 40$  км/ч частота воздействия составляет 68,8 1/с, считаем, что для полуприцепа МАЗ-5210 изменение величины базы заметного влияния на поперечную устойчивость не оказывает, так как при этих частотах разница между видом соответствующих частотных характеристик мало заметна. При длине неровности 2 м  $\omega = 34,4$  1/с и оптимальная величина базы будет равна 5 м. Однако следует иметь в виду, что в зависимости от скорости движения автопоезда картина взаимосвязи величины базы и длин неровностей пути может быть другой [2].

Исследования показали, что величина радиуса крена  $\rho_{кр}$  полуприцепа оказывает заметное влияние на коэффициент  $k_v$  при первом резонансном режиме. Например, для полуприцепа МАЗ-5210 ( $v = 40$  км/ч), в случае, если  $\rho_{кр}$  равно 0,2 м,  $k_v = 4$ , а если  $\rho_{кр} = 1$  м,  $k_v$  равно 5,3. При увеличении частоты  $\omega$  радиус крена заметного влияния на  $k_v$  не оказывает.

На примере двухосного полуприцепа исследовано влияние на его поперечную устойчивость расстояния  $L_4$  между осями колес. На первом резонансном режиме  $k_v$  с увеличением  $L_4$  возрастает, имея при  $L_4 = 1$  м значения 2,4 м, при  $L_4 = 8$  м  $k_v = 3$ . При  $\omega = 7$  увеличение  $L_4$  приводит к снижению  $k_v$ , а при больших значениях частот  $k_v$  сначала возрастает, а затем падает. В целом заметно, что с увеличением расстояния между осями происходит сдвиг резонансных частот в сторону уменьшения, т.е. при неровностях большой длины более целесообразным становится увеличение расстояния между осями.

Исследования показали, что увеличение коэффициента сопротивления поперечно-угловым колебаниям в седельном устройстве снижает величину коэффициента динамичности  $k_v$ . Так, в случае трехосного полуприцепа увеличение указанного коэффициента сопротивления с 0,04 т.м.с. до 3,6 т.м.с. приводит к снижению коэффициента  $k_v$  с 3,1 до 2,88. С увеличением частот эта разница становится менее заметной. Изменение величины жесткости седельно-цепного устройства в поперечной плоскости приводит к снижению коэффициента  $k_v$  с 3,1 до 2,88. С увеличением частоты эта разница становится менее заметной. Изменение величины жесткости седель-

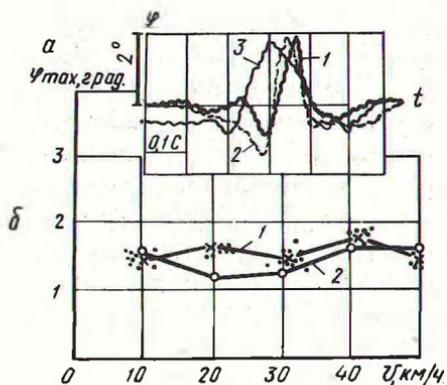


Рис. 4. Экспериментальные кривые для угла поперечного крена двухосного полуприцепа; а — осциллографические записи углов  $\varphi$  бокового крена полуприцепа (1 —  $v = 32,2$  км/ч; 2 —  $v = 22,5$  км/ч; 3 —  $v = 8,45$  км/ч); б — зависимость угла  $\varphi$  от скорости движения автопоезда (1 — экспериментальная кривая; 2 — теоретическая кривая).

но-цепного устройства в поперечной плоскости приводит к смещению частоты резонансного режима. Установлено, что наибольшее влияние изменения жесткости седельно-цепного устройства оказывает на боковую устойчивость полуприцепа в области первой резонансной частоты.

Для подтверждения точности использованной при исследованиях методики был произведен подтверждающий эксперимент. В качестве объекта использовался двухосный полуприцеп, параметры которого приведены в табл. 1. При опытах на ленту осциллограммы записывался угол бокового крена полуприцепа (с помощью гироскопа), путь и время. Запись производилась при переезде единичной синусоидальной неровности, длина полуволны которой равнялась 1 м, высота 10 см. Переезд через неровность осуществлялся при установившемся движении на различных скоростях. На рис. 4, а показаны для примера осциллографические записи угла  $\varphi$  в процессе переезда через неровности колесами правого борта полуприцепа.

Сравнение расчетных данных с опытными указывает на достаточную точность разработанной и примененной при исследованиях методики, отклонения расчетных данных от теоретических находятся в пределах 5—8% и только в некоторых случаях доходят до 15—16%. Для наглядности на рис. 4, б приведены теоретическая и экспериментальная кривые зависимости максимального угла бокового крена от скорости движения.

Проведенные исследования позволили оценить боковую устойчивость различных по грузоподъемности и конструкции по-

луприцепов МАЗ и сделать соответствующие выводы, которые были использованы при проектных работах.

### Л и т е р а т у р а

1. Жуков А.В., Кадошко Л.И., Смеян А.И. Исследование и выбор параметров поперечной устойчивости прицепных автотранспортных средств.—Автомобильная промышленность, 1972, № 1.
2. Жуков А.В. Влияние запаздывания воздействия неровностей дороги на поперечные колебания полуприцепа.— Автомобильная промышленность, 1971, № 6.