

УДК 629.083

ВЛИЯНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТОРМОЗНЫХ СИЛ МЕЖДУ ОСЯМИ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ НА ФАЗЫ ПРОЦЕССА ТОРМОЖЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

М.А. Подригало, профессор, д.т.н., ХНАДУ, В.И. Назаров, вед. инженер,
Запорожский автомобильный завод

Аннотация. Даны рекомендации по выбору постоянного значения коэффициента распределения общей тормозной силы на переднюю ось легкового автомобиля из условия обеспечения устойчивости и равномерной энергонагруженности его тормозных механизмов в эксплуатации.

Ключевые слова: легковой автомобиль, эксплуатация, торможение, распределение тормозных сил.

ВПЛИВ РОЗПОДІЛУ ГАЛЬМІВНИХ СИЛ МІЖ ОСЯМИ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБІЛЯ НА ФАЗИ ПРОЦЕСУ ГАЛЬМУВАННЯ В ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

М.А. Подригало, професор, д.т.н., ХНАДУ, В.І. Назаров, пров. інженер,
Запорізький автомобільний завод

Анотація. Дано рекомендації щодо вибору постійного значення коефіцієнта розподілу загальної гальмівної сили на передній осі легкового автомобіля за умови забезпечення стійкості та рівномірного енерговантаження його гальмівних механізмів під час експлуатації.

Ключові слова: легковий автомобіль, експлуатація, гальмування, розподіл гальмівних сил.

IMPACT OF BRAKING FORCES DISTRIBUTION BETWEEN THE PASSENGER CAR AXELS ON BRAKING PROCESS UNDER OPERATION

M. Podrigalo, Professor, Doctor of Technical Science, V. Nazarov, principal engineer,
Zaporizhzhia Automobile Plant

Abstract. The recommendations concerning the choice of constant value of total braking force loading on the passenger car front axle for the purpose of stability providing as well as even energy loading of its brake devices under operation are given.

Key words: passenger car, operation, braking, forces distribution.

Введение

На движение автомобиля в тормозном режиме оказывает влияние частота распределения тормозных сил в реальных дорожных условиях, стабильность их величины при постоянном управляющем воздействии со стороны водителя и предельная скорость их изменения для существующих типов тормозного привода.

Несмотря на накопившиеся значительные экспериментальные данные [1], в литературе

отсутствуют критериальные условия для оценки влияния изменения коэффициента распределения тормозных сил между осями на нагруженность тормозных механизмов легковых автомобилей в процессе эксплуатации.

Анализ публикаций

Проведенный теоретический анализ представляет возможность сформулировать основные причины потери устойчивости легковых автомобилей в процессе их эксплуатации [2],

среди которых имеет место неравномерность тормозных моментов на колесах и различная нагруженность тормозов, вызванная неравномерным износом их элементов, шин колес и реализацией коэффициента сцепления между шинами и дорогой. Однако влияние изменения коэффициента распределения тормозных сил между осями автомобиля при различном сочетании заблокированных и не заблокированных колес с учетом скачкообразного динамического перераспределения вертикальных реакций на колесах на фазы процесса торможения не рассматривались.

Цель и постановка задачи

Целью исследования является снижение нагруженности тормозов легкового автомобиля при служебных торможениях за счёт выбора рационального распределения тормозных сил между осями.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи:

- определить предельные тормозные силы и соответствующее им распределение тормозных сил между осями при торможении на границах фаз;
- определить рациональное постоянное значение коэффициента распределения общей тормозной силы, обеспечивающее устойчивость автомобиля при торможении.

Исследование фаз торможения

Исследованию динамики торможения автомобиля и различных фаз этого процесса посвящена работа [3]. В этой работе впервые определены три фазы процесса торможения одиночного автомобиля:

- а) 1-я фаза – до начала блокирования колёс;
- б) 2-я фаза – при заблокированных колёсах одной из осей;
- в) 3-я фаза – при заблокированных колёсах на обеих осях.

Очередность блокирования колёс передней и задней осей определяется выбором величины коэффициента тормозной силы на переднюю ось

$$\beta_d = \frac{P_{T1}}{P_{T1} + P_{T2}}, \quad (1)$$

где P_{T1} , P_{T2} – тормозные силы на передней и задней осях автомобиля, одновременно создаваемые водителем.

При одновременном доведении до грани блокирования колёс передней и задней осей, 2-я фаза процесса отсутствует. Одновременное блокирование колёс передней и задней осей автомобиля возможно при одном расчётном значении коэффициента сцепления колёс с дорогой

$$\phi_0 = \frac{\beta_d \cdot L - b}{h}, \quad (2)$$

где L – продольная колёсная база автомобиля; b – расстояние от задней оси до проекции центра масс автомобиля на горизонтальную плоскость; h – высота центра масс автомобиля.

Идеальное распределение тормозных сил между осями определено Е.А. Чудаковым [3] и выражается следующим уравнением:

$$\beta_{ид} = \frac{b}{L} + \phi \cdot \frac{h}{L}, \quad (3)$$

где ϕ – текущее значение коэффициента сцепления колёс с дорогой, которое может находиться в пределах от минимального $\phi = 0,2$ до максимального $\phi = 0,8$.

При $\phi \leq \phi_0$ происходит опережающее блокирование колёс передней оси, а при $\phi \geq \phi_0$ – задней. При опережающем блокировании передних колёс автомобиль теряет управляемость, а при опережающем блокировании задних – устойчивость.

В работе А.Б. Гредескула [1], в соответствии с фазами блокирования колёс, получены зависимости тормозных сил от усилия на педали. В пределах 1-й фазы тормозные силы на отдельных осях и общая тормозная сила нарастает пропорционально усилию на педали (участок 0-а, см. рис. 1). При этом соотношение между тормозными силами P_{T1} и P_{T2} определяется

$$\frac{P_{T1}}{P_{T2}} = \frac{\beta_d}{1 - \beta_d}. \quad (4)$$

В конце 1-й фазы тормозная сила на одной из осей достигает предела по сцеплению, после чего колёса этой оси блокируются [1]. При блокировании колёс резко уменьшается коэффициент сцепления в площадках контакта шин с дорогой. При этом уменьшается тор-

мозная сила на заблокированной оси и общая тормозная сила.

Дальнейшее увеличение усилия на педали вызывает увеличение тормозной силы на неблокированной оси и общей тормозной силы.

В то же время тормозная сила на заблокированной оси изменяется в связи с изменением перераспределения нагрузки между осями: при $\varphi \geq \varphi_0$ во второй фазе P_{T2} уменьшается, а при $\varphi \leq \varphi_0$ сила P_{T1} увеличивается.

В конце 2-й фазы тормозная сила на второй неблокированной оси тоже достигает предела по сцеплению. Затем блокируется вторая ось, тормозная сила на ней уменьшается в связи с уменьшением коэффициента сцепления при блокировке, и соответственно уменьшается общая тормозная сила. Уменьшение P_T изменяет перераспределение нагрузки, что вызывает изменение тормозной силы на ранее заблокированной оси: уменьшение P_{T2} при $\varphi \geq \varphi_0$ или уменьшение P_{T1} при $\varphi \leq \varphi_0$ [1].

В 3-й фазе колёса обеих колёс заблокированы, и тормозные силы незначительно изменяются в связи с уменьшением коэффициента сцепления при различной скорости скольжения.

В работах [1, 4] при анализе динамического распределения вертикальных реакций дороги между осями использовалась одномассовая модель автомобиля. При этом плечо опрокидывающего момента принималось равным высоте центра масс автомобиля. Это справедливо для торможения автомобиля со всеми заблокированными колёсами (в 3-й фазе).

При торможении в 1-й фазе процесса колёса обеих осей не заблокированы, имеет место трёхмассовая динамическая модель, и плечо опрокидывающего момента – это расстояние от центра масс автомобиля до плоскости, проходящей через оси передних и задних колёс [4].

При торможении во 2-й фазе процесса опрокидывающие моменты от тормозных сил на заблокированных и незаблокированных колёсах будут иметь различные плечи.

Выбор рационального постоянного значения коэффициента распределения общей тормозной силы

В работе [1] выражение было получено из условия равенства коэффициентов использования сцепного веса автомобиля при минимальном φ' и максимальном φ'' коэффициентах сцепления колёс с дорогой. При традиционном подходе [1, 4] коэффициент использования сцепного веса определялся по формулам

– при $\varphi \leq \varphi_0$

$$m = \frac{b/L}{b/L + (\varphi - \varphi_0) \cdot h/L}; \quad (5)$$

– при $\varphi \geq \varphi_0$

$$m = \frac{a/L}{a/L + (\varphi - \varphi_0) \cdot h/L}. \quad (6)$$

При $\varphi = \varphi_0$ величина коэффициента использования сцепного веса равна единице. Соотношения (5) и (6) получены при идеальном распределении тормозных сил между осями, соответствующем уравнению (3). В нашем случае имеем выражения

$$m = \frac{b/L}{b/L - (\varphi - \varphi_0) \cdot \frac{h - r_{cb}}{L}}; \quad (7)$$

$$m = \frac{a/L}{a/L + (\varphi - \varphi_0) \cdot \frac{h - r_{cb}}{L}}. \quad (8)$$

Таким образом, приведенные нами уточнения не повлияли на величину рационального расчётного коэффициента сцепления. Однако величина рационального расчётного коэффициента распределения тормозной силы на переднюю ось в соответствии с уравнением (3) уменьшается и будет равна

$$\beta_p = \frac{b}{L} + \left(\frac{a}{L} \cdot \varphi' + \frac{b}{L} \cdot \varphi'' \right) \cdot \frac{h - r_{cb}}{L}. \quad (9)$$

Такое распределение будет обеспечивать более равномерную энергонагруженность передних и задних тормозов при служебных торможениях.

На некоторых моделях легковых автомобилей малых классов, стремясь избежать установки регуляторов тормозных сил, выбирают $\varphi_0 = \varphi''$ для минимальной загрузки автомобиля

$$\beta_d = \beta'(\varphi'') = \frac{\frac{b}{L} + \varphi'' \cdot \frac{h - r_{cb}}{L}}{1 - \varphi'' \cdot \frac{r_{cb}}{L}}. \quad (10)$$

За счёт этого обеспечивается опережающее блокирование передних колёс во всём диапазоне загрузочных и дорожных условий. Однако величина β_d в этом случае значительна и ведет к перегрузке передних и недогрузке задних тормозов при серии служебных торможений.

Приравняв правые части (10) и (3) при $\varphi = \varphi_0$, получим выражение для традиционного выбора распределения тормозных сил между осями

$$\varphi_0 = \varphi'' \cdot \frac{1 - \frac{a}{h} \cdot \frac{r_{cb}}{L}}{1 - \varphi'' \cdot \frac{r_{cb}}{L}}. \quad (11)$$

Таким образом, для обеспечения устойчивости автомобиля при экстренных торможениях следует выполнять также условия для более равномерной нагруженности передних и задних тормозов при служебных торможениях.

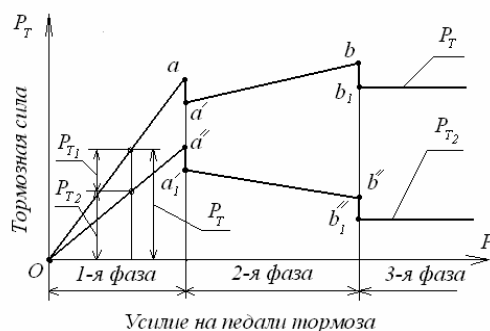


Рис. 1. Зависимости тормозных сил от усилия на педали при $\varphi \geq \varphi_0$ [1], уточнённые по результатам проведенных исследований

Полученные в результате проведённого исследования уточнения касаются и характера протекания торможения. Если при $\varphi \leq \varphi_0$ существующий характер протекания не из-

менится, то при $\varphi \geq \varphi_0$ на границе 2-й и 3-й фаз произойдёт не увеличение P_{T2} , а уменьшение (рис. 1), обусловленное блокированием задних колёс и увеличением опрокидывающего момента в продольной плоскости автомобиля, приводящего к снижению суммарной вертикальной нагрузки на заднюю ось.

Выводы

1. В результате проведенного исследования уточнено распределение тормозной силы на колёсах передней и задней оси автомобиля, что позволило определить рациональные коэффициенты их распределения на границах различных фаз торможения в процессе эксплуатации.

2. На основании полученных зависимостей предложены уточненные рекомендации по выбору рационального постоянного распределения тормозных сил между осями, обеспечивающего как устойчивость эксплуатируемого автомобиля при экстренных торможениях, так и равномерную нагруженность тормозов при служебных торможениях.

Литература

1. Гредескул А.Б. Экспериментальное исследование блокирования затормаживаемого колеса / А.Б. Гредескул, Н.А. Булгаков // Автомобильная промышленность. – 1985. – №3. – С. 21–25.
2. Подригало М.А. Причины снижения курсовой устойчивости легковых автомобилей в процессе эксплуатации / М.А. Подригало, В.И. Назаров // Автомобильный транспорт: сб. научн. тр. – Харьков: ХНАДУ. – 2010. – Вып. 26. – С. 39–42.
3. Чудаков Е.А. Теория автомобиля / Е.А. Чудаков. – М.: Машгиз, 1950. – 343 с.
4. Булгаков Н.А. Исследование динамики торможения автомобиля / Н.А. Булгаков, А.Б. Гредескул, С.И. Ломака // Научное сообщение №18. – Харьков: Изд-во Харьковского госуниверситета, 1962. – 36 с.

Рецензент: В.П. Волков, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 20 мая 2011 г.