

УДК 629.083

## ПРИЧИНЫ СНИЖЕНИЯ КУРСОВОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

М.А. Подригало, профессор, д.т.н., ХНАДУ, В.И. Назаров, инженер, ЗАЗ,  
г. Запорожье

*Аннотация.* Анализируются причины потери и условия сохранения курсовой устойчивости легковых автомобилей в процессе эксплуатации при выполнении торможений.

*Ключевые слова:* легковой автомобиль, потеря курсовой устойчивости, торможение, изнашивание, возмущающий фактор, эксплуатация.

## ПРИЧИНИ ЗНИЖЕННЯ КУРСОВОЇ СТІЙКОСТІ ЛЕГКОВИХ АВТОМОБІЛІВ У ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

М.А. Подригало, професор, д.т.н., ХНАДУ, В.І. Назаров, інженер, ЗАЗ,  
м. Запоріжжя

*Анотація.* Аналізуються причини втрати та умови збереження курсової стійкості легкових автомобілів у процесі експлуатації під час виконання гальмувань.

*Ключові слова:* легковий автомобіль, втрата курсової стійкості, гальмування, зношування, збурювальний фактор, експлуатація.

## CAUSES OF AUTOMOBILES COURSE STABILITY REDUCTION DURING OPERATION

M. Podrigalo, Professor, Doctor of Technical Science, KhNAHU,  
V. Nazarov, engineer, ZAZ, Zaporozh'e

*Abstract.* Conditions concerning conservation of automobiles course stability at braking during operation are considered.

*Key words:* vehicle, operation, course stability, braking, disturbance factor.

### Введение

Вопросам исследования и улучшения устойчивости движения в период эксплуатации одиночных автомобилей посвящено значительное количество научных работ. Особенно остро стоит проблема сохранения курсовой устойчивости эксплуатируемых легковых автомобилей при воздействии рабочей тормозной системы, не оборудованной электронными системами слежения за процессом торможения.

### Анализ публикаций

Анализ возможности обеспечения курсовой устойчивости эксплуатируемых легковых автомобилей при торможении позволил опередить два аспекта этой проблемы [1]:

- снижение опасности появления заноса (повышение устойчивости против заноса);
- уменьшение склонности к развитию заноса и его ликвидация при движении автомобиля (повышение устойчивости при заносе).

Повышение устойчивости против заноса при торможении осуществляется выбором коэффициента распределения тормозных сил между осями и применением регуляторов тормозных сил, препятствующих опережающему блокированию задних колес.

Возмущающие факторы, вызывающие занос, носят случайный характер и определяются конструктивными и эксплуатационными параметрами. Наиболее важными из них являются коэффициент распределения тормозных сил между осями и координаты центра масс автомобиля.

Известно, что наибольшей устойчивостью легковой автомобиль обладает при опережающем блокировании передних колес или при одновременном доведении до грани блокирования всех колес, а наихудшей устойчивостью – при опережающем блокировании задних колес. Обеспечение одновременного доведения до грани блокирования передних и задних колес в случае прямолинейного движения по горизонтальной опорной поверхности при торможении является актуальным и при действии боковой силы.

Несмотря на накопившиеся значительные экспериментальные данные [2], в литературе отсутствуют критериальные условия для оценки влияния коэффициента распределения тормозных сил между осями, координат центра масс и коэффициента сцепления колес с дорогой на курсовую устойчивость легковых автомобилей при заносе. Кроме того, существующие физические и математические модели описывают поведение автомобиля при значительных углах бокового увода колес и скоростях бокового скольжения, что и обусловило появление в качестве критерия устойчивости так называемой критической скорости движения.

Учитывая требования действующего стандарта (ОСТ 37.001.067-86), определяющего угол поворота продольной оси автомобиля в конце торможения не более  $15^\circ$ , и нормативных документов, регламентирующих его значение не более  $8^\circ$ , необходимым является исследование курсовой устойчивости автомобиля при малых изменениях курсового угла.

#### Цель и постановка задачи

Целью работы является повышение курсовой устойчивости эксплуатируемых легковых автомобилей при экстренных торможениях.

Фактическая траектория движения при торможении автомобиля состоит из сопряженных прямолинейных и криволинейных участков. Это вызвано возмущающим воздействием дорожных неровностей, воздушных потоков, биением колес, зазорами в рулевом управлении, неравенством тормозных моментов на колесах и т. д. с последующим управляющим воздействием водителя для сохранения направления движения.

Доказано, что в общем случае экстренного торможения одиночного автомобиля имеет место разновременное блокирование колес обеих осей. В связи с этим при анализе изменения общей и осевых тормозных сил в функции времени необходимо выделять три фазы:

- а) движение автомобиля с незаблокированными колесами;
- б) движения автомобиля с заблокированными колесами какой-либо оси;
- в) движения автомобиля со всеми заблокированными колесами.

Рассматривать процесс экстренного торможения эксплуатируемого легкового автомобиля при заблокированных колесах обеих осей следует с допущениями:

- до затормаживания автомобиль совершает прямолинейное движение или выполняет поворот на горизонтальной поверхности дороги или на дороге с поперечным уклоном;
- центр масс не находится в продольной плоскости симметрии автомобиля и меняет свое положение в зависимости от неравномерности распределения пассажиров и груза;
- в начальный момент торможения продольная и поперечная ось автомобиля совершает бесконечно малое угловое отклонение;
- мгновенный центр поворота автомобиля не совпадает с его центром масс и радиусом поворота;
- реализуемые тормозные силы на колесах каждой оси не равны по модулю;
- действие ветра направлено в продольной и боковой плоскости автомобиля.

Для достижения поставленной цели следует произвести анализ движения легкового автомобиля в тормозном режиме в процессе эксплуатации.

### Анализ курсовой устойчивости эксплуатируемых легковых автомобилей при торможениях

Проведенный анализ ряда исследовательских работ [3] показывает, что в реальных условиях движения автомобильного колеса на него практически всегда действует боковая сила. В результате этого анализа определены наиболее характерные причины, вызывающие появление возмущающих сил и моментов, действующих на автомобиль при торможении. Возможной причиной появления возмущающих сил и моментов является скорость их изменения.

Как известно, стабилизация управляемых колес достигается за счет установки их с определенными углами развала и схождения, которые составляют для современных автомобилей не более  $1^\circ$ . При торможении углы установки могут изменяться, что вызывает появление боковых сил и поворачивающих моментов.

На процесс торможения легкового автомобиля оказывает влияние геометрия ходовой части, которая нарушается за счет износа, остаточных деформаций, смещения центра масс от приложения несимметричной нагрузки и т.д. Это может вызвать кинетический увод шин и, как следствие, боковую силу, а также поворачивающий момент в горизонтальной плоскости относительно вертикальной оси, проходящей через мгновенный центр вращения, не совпадающий с центром масс.

Неравномерность работы тормозных механизмов по отдельным колесам вследствие их изнашивания вызывает момент, поворачивающий автомобиль в горизонтальной плоскости. Равный ему реактивный момент создается за счет боковых сил.

Применительно к процессу движения автомобильного колеса в тормозном режиме величина тормозной силы может изменяться в широком диапазоне. Минимальные значения этой силы определяются сопротивлением движению колеса и связанных с колесом деталей тормоза. Максимальное значение тормозной силы определяется условиями сцепления колеса с опорной поверхностью. В пределах этого диапазона величина тормозной силы на осях эксплуатируемых легковых

автомобилей, не оборудованных электронными системами слежения за процессом торможения, регулируется водителем.

На движение автомобильного колеса в тормозном режиме оказывает влияние частота распределения тормозных сил в реальных условиях, стабильность их величины при постоянном управляющем воздействии со стороны водителя и предельная скорость их изменения для существующих типов тормозного привода. По статистическим данным [3] наибольшую частоту имеют служебные тормозные режимы, при которых тормозная сила составляет 16 – 25 % от статической вертикальной нагрузки на колесо, а наименьшую – экстренные торможения, выполняемые с наибольшей эффективностью. Скорость изменения величины тормозной силы определяется скоростью управляющего воздействия со стороны водителя и динамического качества тормозного привода. В свою очередь, скорость управляющего воздействия значительно изменяется в зависимости от того, сохраняется ли за водителем функция регулирования тормозных сил или управляющее воздействие состоит лишь в перемещении тормозной педали с максимальной скоростью. В первом случае управляющее воздействие осуществляется с переменной скоростью перемещения тормозной педали ввиду опасения перетормаживания. Во втором случае скорость обычно постоянная, а величина ее определяется психофизиологическими данными водителя.

Особого внимания заслуживает вопрос о предотвращении заноса легкового автомобиля в процессе эксплуатации при торможении.

В работе [4] получено уравнение движения автомобиля в горизонтальной плоскости, однако не рассматриваются и не анализируются случаи торможения при действии возмущающих боковых сил и моментов, причины возникновения которых показаны выше.

В работе [5] утверждается, что с точки зрения потери курсовой устойчивости автомобиля при торможении глобальным является опережающее блокирование задних колес, так как возникающий занос задней оси в этом случае увеличивается действием поворачивающего момента от вертикальной составляющей центробежной силы инерции. Однако влияние момента от ее горизонталь-

ной составляющей, равного по модулю, но противоположно направленного, не учитывается.

Предотвратить занос легкового автомобиля при торможении рабочей системой, не оборудованной электронной системой управления торможением, можно путем применения регуляторов тормозных сил, которые изменяют соотношение приводных давлений, (тормозных сил) на колесах передней и задней осей в зависимости от интенсивности торможения, а значит, – динамического перераспределения вертикальной нагрузки между осями.

Анализ процесса экстренного торможения легкового автомобиля показывает, что в момент опережающего блокирования колес передней или задней осей между опорной поверхностью и шинами этих колес возникает сила трения скольжения, в то время как на незаблокированных колесах реализуются тормозные моменты.

Наиболее эффективным с точки зрения уменьшения склонности к развитию заноса легкового автомобиля и ликвидации заноса при торможении является первоначальный период процесса торможения, когда растущие тормозные силы на обеих осях не превосходят своего предельного значения по сцеплению с дорогой.

### Выводы

Проведенный теоретический анализ представляет возможность сформулировать основные причины возникновения возмущающих сил и моментов при торможении легкового автомобиля в процессе эксплуатации:

- поперечный уклон дороги;
- действие ветра;
- изменение углов бокового увода колес;
- нарушение геометрии ходовой части автомобиля и углов установки управляемых колес;
- асимметричность шин вследствие их неравномерного износа;
- выполнение поворота или маневрирование;
- неравенство тормозных сил на колесах, вызванное различием приводных давлений в контурах, коэффициента сцепления между шинами и опорной поверхностью и бортовой неравномерностью вертикальных реакций.

Для уменьшения склонности к развитию заноса легкового автомобиля и ликвидации заноса в процессе торможения следует адаптировать управляющее воздействие тормозной системы легкового автомобиля в процессе эксплуатации к его весовому состоянию и динамическому изменению вертикальных нагрузок на колесах. При этом управляющее воздействие тормозной системы следует вводить в первоначальный период торможения, когда растущие тормозные силы на обеих осях не превосходят своего предельного значения по сцеплению с дорогой.

Предотвратить занос легкового автомобиля при торможении рабочей системой, не оборудованной электронной системой управления торможением, можно путем применения регуляторов тормозных сил, которые изменяют соотношение тормозных сил на колесах передней и задней осей в зависимости от статического и динамического перераспределения вертикальных реакций на колесах.

### Литература

1. Литвинов А.С. Характеристики основных элементов автомобиля, влияющих на устойчивость и управляемость / А.С. Литвинов // Управляемость и устойчивость автомобиля. – М.: Машиностроение, 1971. – С. 28–340.
2. Гредескул А.Б. Экспериментальное исследование блокирования затормаживаемого колеса / А.Б. Гредескул, Н.А. Булгаков // Автомобильная промышленность. – 1985. – №3. – С. 21–25.
3. Волков В.П. Режимы работы тормозов легковых автомобилей и совершенствование способов их моделирования при ресурсных лабораторных испытаниях: автореф. дис. на соискание научн. степени канд. техн. наук: 05.05.03 / В.П. Волков. – Харьков, 1982. – 18 с.
4. Колебания и устойчивость движения автомобиля и автопоезда, динамическая нагруженность их агрегатов: сб. науч. тр. – М.: МАДИ, 1983. – 132 с.
5. Гуревич Л.В. Тормозное управление автомобиля / Л.В. Гуревич, Р.А. Меламуд. – М.: Транспорт, 1978. – 152 с.

Рецензент: Е.Е. Александров, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 15 апреля 2010 г.