

## АНАЛИЗ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННЫХ ТОРМОЗНЫХ СИСТЕМ

*Д.В. Глазунов*

---

Проведен полный анализ современных тормозных систем, рассмотрен процесс усовершенствования и обновления тормозных систем, а также изложены этапы их развития.

*Ключевые слова:* тормозная система; ABS; ПБС; электронная система.

Тормозная система, как и рулевое управление, относятся к так называемым активным системам безопасности, отвечающим за безопасность пассажиров. В настоящее время автомобили становятся все быстрее, и требования к элементам и узлам автомобиля, а в особенности к тормозной системе, становятся все выше. Поэтому вопросы создания тормозной системы, позволяющей обеспечить минимальный тормозной путь, управляемость при экстренном торможении на любых типах покрытий, являются весьма актуальными. Совершенствование конструкции тормозной системы автомобиля происходит с учетом новейших разработок в области микроэлектроники и микропроцессорной техники [1, 2]. Основные этапы развития тормозных систем, управляемых электроникой, представлены на рисунке 1.

Примером использования современных технологий в области тормозных систем являются антиблокировочные системы ABS (Anti-Lock Braking System), которые позволяют повысить эффективность и безопасность торможения. Сначала ABS появились на автомобилях высокого класса, а ныне входят в стандартную комплектацию многих микро-

литражек. Например, при резком, экстренном торможении колеса автомобиля нередко полностью блокируются. Однако инерция автомобиля еще не преодолена, он продолжает движение, и заблокированные колеса просто скользят по дорожному покрытию. В этом случае имеются два неприятных момента. Во-первых, сцепление заблокированных колес с дорогой значительно меньше, чем вращающихся, и, во-вторых, автомобиль с заблокированными колесами практически неуправляем, и если дорожное полотно влажное или обледенелое, то авария почти гарантирована. Естественно, опытный водитель дело до блокировки колес не доводит, а применяет так называемое прерывистое торможение.

Почувствовав, что вращение колес прекратилось, и автомобиль начинает скользить, водитель отпускает педаль тормоза, колеса начинают вращаться, их сцепление с дорогой возрастает, и машина снова поддается управлению – теперь можно повторить торможение. Эта методика довольно действенна, однако требует от водителя определенных навыков и дополнительных усилий.

Антиблокировочная система тормозов делает то же самое, что и опытный водитель, только бы-

стрее, точнее и без участия человека. Достаточно сказать, что ABS за секунду делает до 10–12 циклов притормаживания, что абсолютно недостижимо даже для профессиональных автогонщиков. В результате, тормозной путь автомобиля на сухом дорожном покрытии сокращается на 10–15 %, хотя на влажном, обледенелом и смешанном покрытии тормозной путь может увеличиться. Но самым важным преимуществом антиблокировочной системы является сохранение управляемости автомобиля при экстренном торможении, что позволяет объехать возникшее препятствие, не допустив столкновения.



Рисунок 1 – Основные этапы развития тормозных систем

BAS (Brake Assist System) – вспомогательная система в приводе тормозов – дебютировала в 1997 г. на Mercedes E-class. BAS помогает водителю реализовать максимальное усилие на педали тормоза в первые мгновения экстренной остановки. Иными словами, BAS быстрее вводит в действие тормозную систему, а это поможет нерешительному или физически слабому водителю сэкономить несколько метров тормозного пути. В автомобилях Mercedes и Toyota технически эта идея реализована следующим образом. В пневматический усилитель тормозов встроены датчик скорости перемещения штока и электромагнитный привод. Как только в управляющий центр с датчика скорости поступает команда о том, что водитель резко ударяет по педали тормоза, включается электромагнит, кото-

рый увеличивает силу воздействия на шток. Таким образом, уже через долю секунды автоматика помогает водителю добиться наиболее эффективного торможения. В то же время даже на влажном покрытии срыва колес в юз не происходит – в действие успевает вступить ABS. То есть BAS помогает водителю в самый первый момент торможения, а уж если потом усилие слишком велико, то ABS предохранит колеса от блокировки и сохранит автомобиль управляемым.

Кроме того, BAS “запоминает”, как конкретный водитель использует торможение в штатных режимах, поэтому ей легче “распознать” критическую ситуацию. Испытания показали, что при скорости 100 км/ч использование BAS позволяет сократить тормозной путь с 46 до 40 метров на автомобиле Mercedes.

Несколько иным путем пошли инженеры концерна BMW. Они не стали использовать на своих автомобилях систему первого поколения, в которой исполнительный механизм воздействовал на вакуумный усилитель, а дождалась второго. Свою систему они назвали DBC (Dynamic Brake Control). Система DBC объединена с антиблокировочной системой и при срабатывании перепускает в магистраль тормозную жидкость из гидроаккумуляторов ABS, где она находится под избыточным давлением. Система начинает активизироваться уже в момент резкого сброса ноги с акселератора. А благодаря высокому давлению, уже обеспеченному “умной системой”, быстрое действие тормозной системы еще более увеличивается. Лишние 0,5 секунды, которые экономит DBC по сравнению с обычным среднестатистическим водителем, позволяют сократить тормозной путь на 15 метров при начальной скорости торможения 100 км/ч. К достоинствам системы можно также отнести “жесткую” связь, которая позволяет без проблем сохранить при экстренном торможении следящее действие на педали. При быстром нажатии на педаль она лишь еще немного уходит вниз, и при этом можно по-прежнему управлять замедлением.

Следующим шагом в развитии тормозных систем стало внедрение компанией Volvo электронной системы распределения тормозного усилия EBD (Electronic Braking Force Distribution). Во-первых, она регулирует давление в контурах задних тормозов так, чтобы они не срабатывали раньше передних, ни в коем случае не блокировались, но в то же время тормозили с максимальной эффективностью, в зависимости от загрузки автомобиля и коэффициента сцепления с дорожным полотном. Во-вторых, сам гидропривод стал “разорванным”. Хотя рабочие гидравлические цилиндры остались на своих ме-

стах, но если передний контур соединяется с главным тормозным цилиндром напрямую, то к заднему мосту посылается электрический сигнал на электронасос. Распознавая по усилию на педали степень желаемого замедления, блок управления анализирует показания датчиков скорости вращения колес, характер движения автомобиля, степень износа тормозных колодок и т.д. После чего рассчитывает необходимое давление в каждом контуре. Источником этого давления служит гидроаккумулятор с электронасосом. В сущности, EBD выполняет функции регулятора тормозных сил, только гораздо более гибко и точно (рисунок 2).

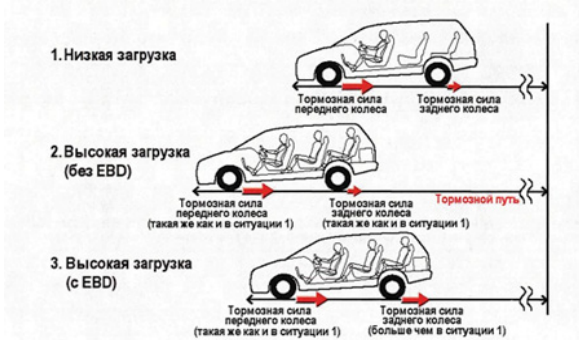


Рисунок 2 – Работа системы электронного распределения тормозных усилий

В случае выхода из строя блока управления усилие передается через главный тормозной цилиндр обычным способом, но только на передние колеса. Образно говоря, EBD встроена поверх основной тормозной системы. Аналогичная система фирмы Nissan позволила сократить тормозной путь при остановке со 100 км/ч на автомобиле Terrano II на 8 метров.

Еще одной системой, которая помогает водителю в сложных дорожных ситуациях, является электронная система стабилизации курсовой устойчивости ESP. В случае возникновения экстремальной ситуации она компенсирует неадекватно резкую реакцию водителя и способствует сохранению устойчивости автомобиля. Ее работа заключается в осуществлении тягово-динамического регулирования работы систем управления автомобилем. ESP распознает опасность заноса, и целенаправленно компенсирует нарушение курсовой устойчивости автомобиля. Для обозначения аналогичных систем используются следующие сокращения: ASMS (Automatisches Stabilitäts Management System), DSC (Dynamic Stability Control), FDR (Fahr-dynamik-Regelung), VSA (Vehicle Stability Assist), VSC (Vehicle Stability Control). ESP реагирует на критические ситуации в том случае, если известны ответы на два вопроса:

- Куда намерен ехать водитель?
- Куда на самом деле едет автомобиль?

Ответ на первый вопрос система получает от датчиков, определяющих угол поворота рулевого колеса и угловые скорости колес автомобиля. Ответ на второй вопрос можно получить, измеряя угол поворота автомобиля вокруг вертикальной оси и величину его поперечного ускорения. Если по поступающей от датчиков информации получаются разные ответы на упомянутые выше вопросы, то существует вероятность возникновения критической ситуации, при которой необходимо вмешательство ESP. Критическая ситуация может проявляться в двух вариантах поведения автомобиля (рисунок 3).

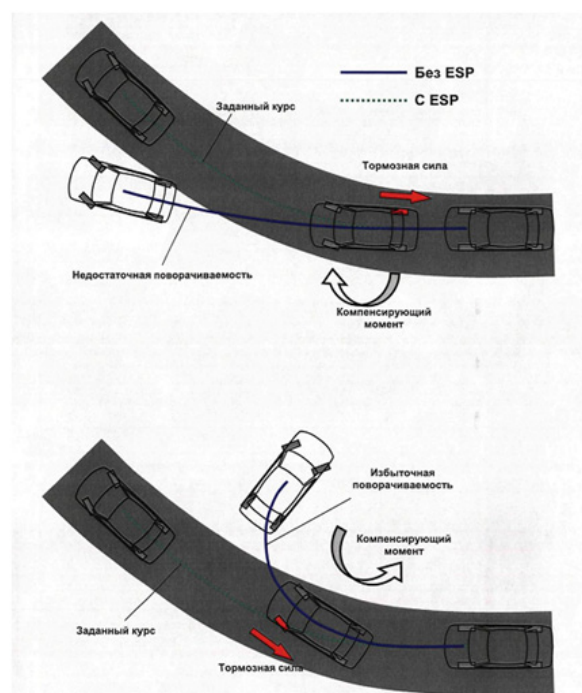


Рисунок 3 – Работа системы поддержания курсовой устойчивости (ESP)

**Недостаточная поворачиваемость автомобиля.** В этом случае блок управления ESP дозированно подтормаживает заднее колесо на внутренней стороне поворота, а также воздействует на системы управления работой двигателя и АКП (если автомобиль оборудован автоматической трансмиссией). В результате добавления к сумме сил тормозной силы, приложенной к упомянутому выше колесу, вектор результирующей силы, действующей на автомобиль, поворачивается в сторону поворота и возвращает машину на заданную траекторию движения, предотвращая выезд за пределы



проезжей части и обеспечивая тем самым входение в поворот.

**Избыточная поворачиваемость автомобиля.** В этом случае ESP дозированно подтормаживает переднее колесо на внешней стороне поворота и воздействует на системы управления работой двигателя и АКП (если автомобиль оборудован автоматической трансмиссией). В результате вектор результирующей силы, действующей на автомобиль, поворачивается наружу поворота, предотвращая тем самым занос автомобиля и следующее за ним неуправляемое вращение вокруг вертикальной оси.

Еще одной распространенной ситуацией, в которой требуется вмешательство ESP, является объезд неожиданно возникшего на дороге препятствия или как его еще называют “переставка”. В случае, если автомобиль не оборудован ESP, события часто развиваются по следующему сценарию. Перед автомобилем неожиданно возникает препятствие. Чтобы избежать столкновения с ним, водитель резко поворачивает влево, а затем, чтобы возвратиться на ранее занимаемую полосу, – вправо. В результате подобных манипуляций автомобиль резко поворачивается и возникает занос задних колес, переходящий в неуправляемое вращение автомобиля вокруг вертикальной оси.

Развитие ситуации в случае с автомобилем, оборудованным ESP, выглядит несколько иначе. Водитель пытается объехать препятствие, как и в первом случае, по сигналам датчиков ESP распознает возникший неустойчивый режим движения автомобиля. Система производит необходимые вычисления и, в качестве контрмеры, подтормаживает левое заднее колесо, способствуя тем самым повороту автомобиля. При этом сила бокового увода передних колес сохраняется. Пока машина движется по дуге влево, водитель начинает поворачивать рулевое колесо вправо. Чтобы способствовать повороту автомобиля вправо, ESP подтормаживает правое переднее колесо. Задние колеса при этом вращаются свободно, благодаря чему оптимизируется действующая на них боковая сила увода. Предпринятая водителем смена полосы движения может вызвать резкий поворот автомобиля вокруг вертикальной оси. Чтобы предотвратить занос задних колес, подтормаживается левое переднее колесо. В особо критических ситуациях это торможение должно быть очень интенсивным, чтобы ограничить нарастание боковой силы увода, действующей на передние колеса.

Электрогидравлическая тормозная система (Sensotronic Brake Control (SBC) устанавливается на новые автомобили марки Mercedes-Benz с 2002 года. Эта тормозная система имеет следующие

преимущества перед обычными тормозными системами:

- более точное распределение тормозных сил (рисунок 4);
- уменьшение тормозного пути при экстренном торможении (рисунок 5);
- оптимизацию работы систем активной безопасности;
- более комфортную стабилизацию движения автомобиля при работе ABS, систему стабилизации и т.д.;
- отсутствие вибрации на педали тормоза при работе антиблокировочной системы;
- дополнительные функции, повышающие комфортность и безопасность SBC Hold, SBC Stop, Softstop, Dry braking, Precharging.

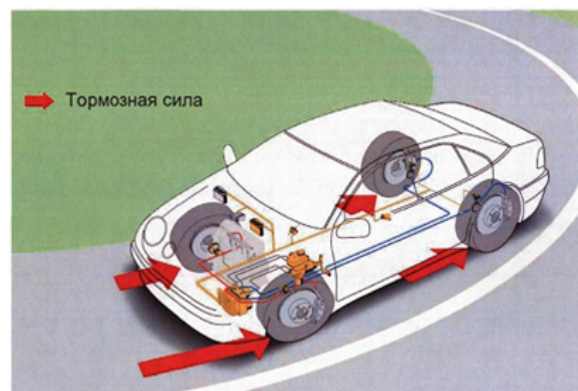


Рисунок 4 – Динамическое распределение тормозного усилия в системе SBC

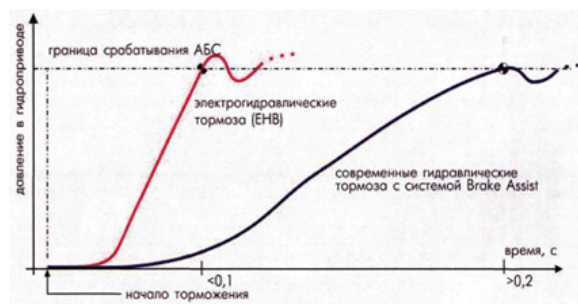


Рисунок 5 – Динамика срабатывания тормозов

Принцип действия этой системы состоит в следующем. При нормальном режиме работы гидравлический контур управляемый электронным блоком и контур с гидромеханическим приводом разделен аварийными клапанами. SBC начинает работать при получении сигнала от контакта двери, контакта багажника, контакта включения стоп-сигнала или дистанционного управления, которое распознает возможную задержку выключения системы. Данная функция предназначена для того,

чтобы предотвратить выключение системы SBC при движении автомобиля за счет инерции (движении вниз по наклону) при выключенном зажигании. Сигнал на выключение системы в данном случае повторяется, когда автомобиль полностью остановится. После включения система производит тестирование работоспособности узлов тормозной системы.

Сначала производится проверка давления в магистрали высокого давления или пневмогидравлическом аккумуляторе давления. Кроме того, проверяются остальные датчики давления и электромагнитные клапаны. Постоянное самотестирование происходит также и при движении.

При начале торможения сигнал с датчика переключения педали тормоза поступает в блок управления SBC. Далее блок управления рассчитывает давление в тормозном механизме индивидуально для каждого колеса. Давление в тормозной системе создает гидронасос высокого давления с электроприводом. При нарушении режима работы SBC, электронный блок управления подает команду на открытие аварийных электромагнитных клапанов, восстанавливая гидравлическую связь между педалью тормоза и передними тормозными механизмами.

В состав SBC входит программа стабилизации движения (Electronic Stability Program) ESP. Модуль ESP имеет приоритет над SBC. Обе системы обмениваются данными по внутренней шине CAN. Блок управления SBC передает данные о давлении торможения и о давлении в системе к модулю ESP. Далее модуль ESP корректирует давление для каждого тормозного механизма и передает исправленные данные обратно к модулю SBC. А модуль SBC подает команды к электромагнитным гидравлическим клапанам.

Применение электрогидравлической тормозной системы открывает новые возможности в конструировании автомобилей будущего. Уже несколько десятилетий ученые в разных странах пытаются создать автопилоты, которые могли бы автоматически управлять автомобилем при помощи видеокамер, радиолокаторов и других датчиков хотя бы в самых простых ситуациях – при движении по загородным автострадам. Одной из составных частей такого автомобиля будущего должна стать управляемая электроникой тормозная система, которая могла бы автоматически останавливать автомобиль по командам электронного автопилота. И электрогидравлическая тормозная система такому требованию удовлетворяет.

Еще одной новинкой в области тормозных систем стала система SWT (Side Wall Torsion) компании Continental Teves. Принцип ее действия основан на определении момента блокировки или

проскальзывания по продольной, и поперечной деформации покрышки. Сегодняшние антиблокировочные системы распознают момент блокировки колеса, получая информацию непосредственно от датчика скорости вращения, т.е. через десятые доли секунды после момента блокировки. С использованием системы SWT момент полной блокировки колеса можно предугадать за доли секунды до его наступления. А это в свою очередь позволяет напрямую следить за степенью нагрузки каждого колеса, что увеличивает точность и быстроту действия всех систем активной безопасности.

Еще одним путем увеличения эффективности торможения является улучшение коэффициента сцепления колеса с дорогой. Добиться максимального сцепления шины с сухим асфальтом просто – для этого протектор надо сделать мягким и вообще без рисунка, как на гоночных сликах. Но для дорожных покрышек это не годится. Инженеры компании Continental Teves выяснили, что основным направлением повышения эффективности торможения путем увеличения коэффициента сцепления с дорогой, является совершенствование конструкции каркаса и состава резиновой смеси покрышки, с целью увеличения пятна контакта и повышению равномерности распределения нагрузки в нем при торможении. Компания Continental провела пробный заезд автомобиля Volkswagen Golf, оснащенного электрогидравлической тормозной системой, активной пневматической подвеской, системой SWT, покрышками фирмы Continental с намагниченными боковинами. Результатом этого заезда стал рекордно низкий тормозной путь автомобиля – со скорости 100 км/ч он составил 29,44 м. Это означает, что автомобиль развивает замедление 1,3g – заметно больше привычного уровня. Для достижения заветного 30-метрового результата инженерам понадобился комплексный подход для достижения большей эффективности торможения. Нужно оптимизировать работу всех систем автомобиля, которые участвуют в этом процессе.

Тормозные системы автомобиля являются основным элементом обеспечения безопасности движения, и в связи с увеличивающейся автомобилизацией требуют постоянного совершенствования.

#### *Литература*

1. *Афонин Г.С.* Устройство и эксплуатация тормозного оборудования подвижного состава: учебник. М.: ИЦ “Академия”, 2005.
2. *Афонин Г.С.* Устройство и эксплуатация тормозного оборудования подвижного состава: учебник / Г.С. Афонин, В.Н. Баршенков, Н.В. Кондратьев. М.: Изд. центр “Академия”, 2006.