

1 Состояние технического уровня современных САБ АТС

Проведен анализ принципов функционирования современных систем САБ АТС, а также уровня информативности алгоритмов САБ АТС, формирующих сигнал управления исполнительными механизмами колесных машин.

Использованы результаты исследований, изложенные в [1, 2, 20–26, 34–40, 44–46, 55–56, 67–78, 91–93].

1.1 Алгоритмы современных антиблокировочных систем автотранспортных средств

В алгоритмах современных АБС (ABS) [1–3, 7, 17, 31–34, 60] используются следующие наиболее известные принципы регулирования: 1 – регулирование по коэффициенту относительного скольжения контакта колеса; 2 – регулирование по максимальной реализации тангенциальной силы колеса; 3 – регулирование по производной от коэффициента сцепления по коэффициенту относительного скольжения контакта колеса (градиентный метод). Причем источниками первичной информации практически всех алгоритмов управления АБС являются кинематические параметры вращения колес машин. Алгоритмы управления АБС реализуют известную диаграмму, представленную на рисунке 1.1. Так, алгоритм АБС использует принцип оптимального соотношения между коэффициентом сцепления колеса с дорогой и коэффициентом относительного скольжения контакта колеса относительно опорной поверхности.

Коэффициент относительного скольжения пятна контакта S определяется по формуле

$$S = \frac{V_a - \omega_k \cdot r_k}{V_a} \cdot 100, \quad (1.1)$$

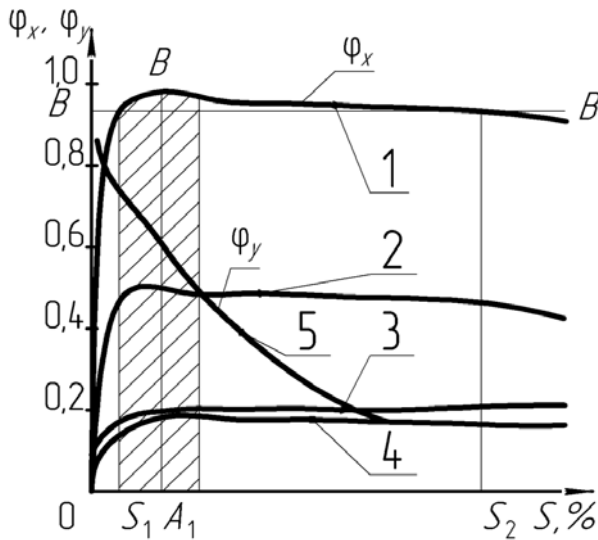
где V_a – скорость поступательного движения остова автомобиля;

ω_k – угловая скорость вращения колеса;

r_k – динамический радиус качения колеса.

На рисунке 1.1 точка A соответствует коэффициенту относительного скольжения пятна контакта колеса $S = 15\text{--}30\%$ и характеризует максимум коэффициента сцепления колеса с опорной поверхностью, после которого

начинается его спад. Полагают, что именно это значение коэффициента относительного скольжения обеспечивает максимальную эффективность и достаточную устойчивость торможения АТС за счет максимального использования коэффициента сцепления колес с дорогой. В то же время исследования [1, 2, 11, 31–34] показывают, что максимум коэффициента сцепления обладает свойством дрейфа и зависит от условий сцепления колес с опорной поверхностью и формируемых водителем тормозных моментов в колесных тормозах.



1 – сухой асфальт; 2 – мокрый бетон; 3 – мокрая брусчатка; 4 – укатанный снег; 5 – значения φ_y на сухом асфальте

Рисунок 1.1 – Диаграмма изменения коэффициента сцеплений тормозящего колеса с опорной поверхностью в зависимости от коэффициента относительного скольжения пятна контакта колеса

Коэффициент сцепления φ_x – это отношение тангенциальной реакции опорной поверхности колеса X к вертикальной нагрузке колеса Z , приложенной в центре его контакта, т. е. $\varphi_x = X / Z$. Коэффициент сцепления φ_y – это отношение боковой реакции опорной поверхности колеса Y к вертикальной нагрузке Z , приложенной к колесу в центре контакта, т. е. $\varphi_y = Y / Z$.

Физический смысл коэффициента сцепления колеса, как это представлено на диаграмме (см. рисунок 1.1), не понимается однозначно и требует дополнительного пояснения [1, 2].

Как известно, сцепление колес зависит от характеристик дороги и шин. Важно отметить, что реакции связи колеса (тангенциальные и боковые силы) снижаются по мере скольжения его контакта. Особенно заметно уменьшение боковой силы по мере увеличения скольжения контакта колеса в продольном направлении. Именно поэтому автомобиль теряет курсовую устойчивость и управляемость при экстренных торможениях, вызывающих значительные скольжения контактов тормозящих колес. Следовательно, оценку изменения боковой силы, действующей на колесо, можно производить по изменению коэффициента сцепления в поперечном направлении φ_y . Коэффициент сцепления в боковом направлении, как и в продольном, зависит от боковой и вертикальной реакций колеса и определяется соотношением $\varphi_y = Y / Z$, где Y – боковая реакция колеса.

Для идентификации коэффициента сцеплений колеса в продольном направлении все АБС используют датчик угловой скорости колеса, электронный блок обработки информации об угловой скорости и блок формирования сигналов управления исполнительным механизмом (модулятор давления рабочего тела в тормозном приводе).

При способе регулирования по принципу отслеживания максимума φ_{cy} в зависимости от относительного скольжения контакта колеса S осуществляется сравнение углового замедления колеса с замедлением остова автомобиля. В последующем эти значения поддерживаются в заданных пределах (пороговое замедление). Способы задания порогового замедления тормозящего колеса достаточно подробно изложены в [1–3, 31, 32, 60].

Таким образом, основная сложность реализации алгоритмов АБС связана с определением линейной скорости V_a движения остова автомобиля, которая чаще всего рассчитывается путем осреднения угловых скоростей вращения колес машины. Данный факт подтверждается множеством ранних патентов на АБС.

Недостаток рассмотренных методов обусловлен еще и тем, что ни проскальзывание, ни замедление колеса не несут достаточной информационной нагрузки, необходимой для определения сил в контакте колеса с дорогой. Поэтому непосредственное использование информации о силах в контакте колес с опорной поверхностью, пропорциональных φ_{cy} , является очевидным. В связи с этим в некоторых комбинированных

системах вместо информации об относительном скольжении контактов колес S применяют заведомо заданное замедление. При этом возникает немало вопросов, связанных с адаптацией алгоритма к изменяющимся характеристикам опорной поверхности. Например, если на диаграмме (см. рисунок 1.1) провести сечение $B-B$, то видно, что одной и той же величине коэффициента сцепления соответствуют разные значения коэффициента относительного скольжения $S-S$. Следовательно, алгоритм определения сцепления по относительному скольжению однозначно не может обеспечить устойчивость автомобиля при торможении, поэтому существует множество методов регулирования.

Современные АБС реализованы по следующим методам регулирования [1–4, 7]: IR (Individuelle Regelung) – индивидуальное регулирование; InR (Indirekte Regelung) – косвенное регулирование; SH (Select-High) – регулирование по высокому порогу; SL (Select-Low) – регулирование по низкому порогу. Соответствующими их модификациями являются: MIR (Modifizierte Individuelle Regelung) – модифицированное индивидуальное регулирование; InIR (Indirekte Individuelle Regelung) – косвенное индивидуальное регулирование; InSR (Indirekte Seitenregelung) – косвенное бортовое регулирование; MAR (Modifizierte Achsregelung) – модифицированное осевое регулирование; MSR (Modifizierte Seitenregelung) – модифицированное бортовое регулирование.

Индивидуальное регулирование IR предусматривает регулирование торможения каждого колеса машины в соответствии с дорожными условиями его сцепления с рассчитанным темпом и частотой изменения давления в приводе. Использование принципа IR позволяет достигать высокой эффективности торможения при движении по однородной поверхности и постоянстве нормальных реакций опорной поверхности колес (равномерная нагрузка на колеса автомобиля). В то же время при разных сцеплениях колес по бортам автомобиля, при маневрировании, неравномерной загрузке автомобиля или движении по дороге с поперечным уклоном торможение по принципу IR не обеспечивает требуемых управляемости и устойчивости.

Косвенное регулирование InR – принцип управления давлением в тормозной камере колеса, использующего информацию о состоянии иного колеса. Это чисто технический прием разработчиков АБС, удешевляющий стоимость за счет того, что количество датчиков минимально. При этом, соответственно, снижаются требования к логическому устройству. Такой принцип регулирования применяют для прицепов и полуприцепов АТС.

Регулирование по высокому порогу SH основано на регулировании давления в тормозном приводе, реализующем алгоритм максимального использования сцепления колеса, находящегося в наилучших условиях по сцеплению.

Регулирование по низкому порогу SL организовано аналогично, но по алгоритму IR. Очевидно, что высокопороговое регулирование обеспечивает эффективность торможения, но управляемость и устойчивость снижаются по тем же причинам, что и для принципа IR.

Низкопороговое регулирование имеет явные преимущества в части обеспечения управляемости и устойчивости, но при этом теряется эффективность торможения, т. к. HR не используются полностью потенциальные возможности по сцеплению колеса.

Принципы SH и SL в «чистом» виде не применяются в АБС, т. к. они неэффективны в условиях типа «микст», при криволинейном движении машины и других сложных ситуациях.

Модифицированное индивидуальное регулирование MIR – принцип работы АБС, позволяющий достигать оптимального соотношения между обеспечением необходимой тормозной эффективности и достаточными управляемостью и устойчивостью. Для реализации такого регулирования каждое колесо должно иметь индивидуальный информационный канал, а также обмен информацией и расчет компромиссных сигналов управления для каждого колеса. Использование принципа MIR способствует высокой эффективности торможения при движении по однородной поверхности дороги и равномерной загрузке автомобиля, т. к. возможна реализация максимального тормозного момента на каждом из колес. В то же время в условиях типа «микст» при маневрировании, неравномерной загрузке автомобиля или движении по дороге с поперечным уклоном торможения по принципу MIR обеспечиваются достаточные управляемость и устойчивость АТС.

Алгоритм MIR, работающий по принципу SL, прекращает фазу повышения и начинает фазу понижения давления для LR и одновременно фазу выдержки для HR, в отличие от алгоритма IR, при котором давление в тормозной камере HR нарастало бы до достижения «уставки». После того, как ускорение входит в допустимые пределы, при повторном прохождении порога замедления тенденция снижения замедления сменяется фазой выдержки давления и одновременно фазой понижения давления, которая через расчетное (относительно длительности фазы понижения на LR) время сменяется также фазой выдержки. Длительность фазы понижения давления для HR рассчитана таким образом, чтобы

обеспечить в тормозной камере (цилиндре) HR уровень давления, несколько больший, чем в LR (степень чувствительности MIR). Когда скорость LR достигает порогового значения, для тормозящих колес начинается синхронное чередование фаз повышения и поддержания давления. Последующие циклы организованы аналогично, но отличаются тем, что разность давления в тормозных камерах (цилиндрах) LR и HR от цикла к циклу будет постепенно расти, пока давление для HR не приблизится к значению, адекватному условиям сцепления. Таким образом, за счет плавного перехода в процессе торможения с принципа регулирования SL на принцип IR постоянно возникающий инерционный момент автомобиля относительно вертикальной оси можно компенсировать своевременным воздействием на рулевое управление. В результате достигаются необходимые управляемость и устойчивость, а также максимальная эффективность торможения, но только тогда, когда пороговое значение «уставка» соответствует характеристикам.

Из вышеизложенного можно сделать вывод, что использование алгоритма MIR целесообразно для регулирования управляемых колес, а также колес поворотных осей прицепа.

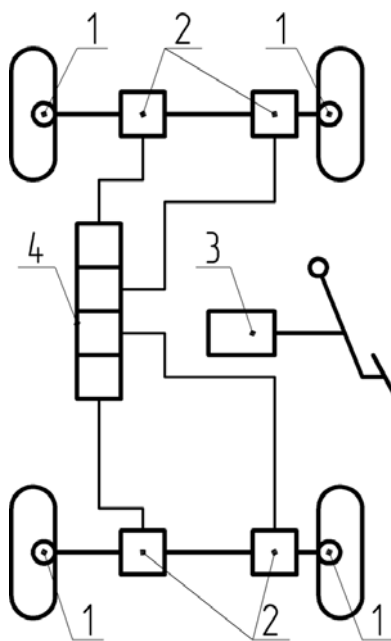
Индивидуальное регулирование InIR применяют на многоосных полуприцепах и прицепах. InIR – регулирование по принципу IR колес одного моста, имеющих прямой информационный канал (т. е. индивидуальный датчик для каждого колеса), с управлением тормозного давления каждым отдельным модулятором, одновременно управляющим близко-расположенным колесом одного с ним борта.

В основе модифицированного регулирования (MAR) и модифицированного бортового регулирования (MSR) лежит принцип SL, позволяющий снизить стоимость АБС. MAR и MSR регулирования применяются на многоосных полуприцепах и прицепах, в частности MAR – для регулирования управляемых колес автомобиля и полуприцепов. Их практическая реализация требует использования одного модулятора, который производит регулирование давления в тормозных камерах пары колес. При этом регулирование IR ведется по LR, при котором отслеживается тенденция колес оси к блокированию, а давление в тормозной камере HR равно давлению в тормозной камере LR. Очевидно, что эффективность торможения при использовании принципа MAR невысока, а его применение для каждого конкретного случая требует тщательной оценки.

Вышерассмотренные методы регулирования достаточно подробно изложены в [1–3, 30, 31, 60]. Каждый из приведенных методов обладает теми или иными недостатками.

Совершенствование алгоритмов АБС, использующих кинематические параметры, осуществляется путем повышения информативности посредством включения дополнительных датчиков кинематических параметров. В свою очередь, это приведет к усложнению алгоритмов и, соответственно, удорожанию системы регулирования.

Анализ методов регулирования АБС показывает, что преимущества того или иного способа АБС неизбежно связаны с экономическими факторами, а выбор метода прямо зависит от информативности системы. Так, например, самая эффективная и дорогая система с индивидуальным регулированием давления представлена на рисунке 1.2.

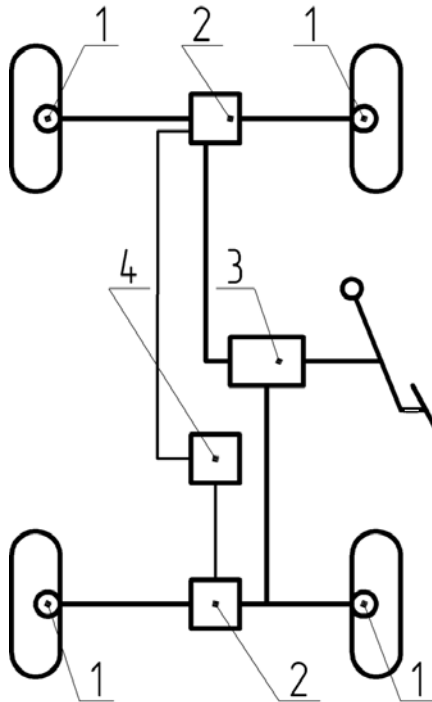


1 – датчик кинематических параметров колеса; 2 – электроклапан регулирования давления в колесном цилиндре; 3 – главный тормозной цилиндр; 4 – четырехканальный электронный блок управления

Рисунок 1.2 – Схема АБС с индивидуальным регулированием (IR)

Таким образом, АБС решает главную задачу – обеспечение устойчивости движения АТС при торможении, но при этом теряется эффективность торможения.

В последнее время на автомобилях чаще всего используют интегрированные четырехканальные АБС/ПБС, а для дешевых моделей (рисунок 1.3) все еще ведутся разработки упрощенных вариантов АБС, встраиваемых в серийные тормозные системы. АБС перевернула представление об уровне безопасности движения колесных машин. На сегодняшний день эта система входит в список необходимого оборудования практически каждого АТС. Ведущие автомобильные фирмы убеждены, что экономить на АБС нельзя. Однако совершенствование АБС за счет повышения информативности, что на самом деле и происходит в более модернизированных системах управления движением АТС, связано с серьезными экономическими затратами.



1 – датчики кинематических параметров колес; 2 – модуляторы; 3 – главный тормозной цилиндр; 4 – электронный блок управления

Рисунок 1.3 – АБС с четырьмя датчиками, двумя модуляторами и двуканальным электронным блоком управления

Основы алгоритма АБС также используются в противобуксовочных системах (ПБС) для регулирования тягового режима движения колесных машин (автомобили и тракторы).

1.2 Основы алгоритмов противобуксовочных систем

Принцип функционирования ПБС (ASR) состоит в том, что, когда формируемый оператором АТС крутящий момент превышает момент по условиям сцепления колес с опорной поверхностью, противобуксовочная система поддерживает и формирует сигнал управления на исполнительные механизмы с целью установления величины проскальзывания ведущих колес в пределах допустимого уровня. Совмещение систем АБС и ПБС оправдано тем, что алгоритмы их функционирования аналогичны, т. е. критерии формирования сигналов управления ПБС основываются на той же диаграмме изменения коэффициента сцепления от величины относительного скольжения колеса, полагая, что диаграмма для тягового режима имеет зеркальное отображение диаграммы тормозного режима движения (рисунок 1.4). В то же время необходимо отметить, что имеются некоторые противоречия в теории тягового и тормозного режимов движения машин. При использовании диаграммы изменения коэффициентов сцепления для ПБС коэффициент относительного скольжения определяют по формуле [1–3, 32, 60, 70]

$$S = \frac{\omega_k \cdot r_k - V_a}{\omega_k \cdot r_k} \cdot 100 \%. \quad (1.2)$$

Из формулы (1.2) следует, что при скорости поступательного движения остова машины $V = 0$ и угловой скорости вращения колеса $\omega \neq 0$ величина относительного скольжения равна 100 %.

Иногда для определения абсолютной величины проскальзывания контакта колеса в тяговом режиме используют выражение, полученное в [1–3, 32, 60, 62],

$$S = \omega_k \cdot r_o - V_a, \quad (1.3)$$

где ω_k – угловая скорость вращения колеса;

r_o – динамический радиус качения колеса;

V_a – скорость поступательного движения остова автомобиля.

Для понимания принципа функционирования ПБС рассмотрим систему фирмы «Вольво» [1–3, 32, 60]. Электронная система управления

тяговым усилием ETC (Electronic Traction Control), которая разработана фирмой «Вольво», автоматически снижает мощность двигателя на опорных поверхностях с низкими значениями коэффициентов сцепления колес путем отключения некоторого числа цилиндров двигателя.

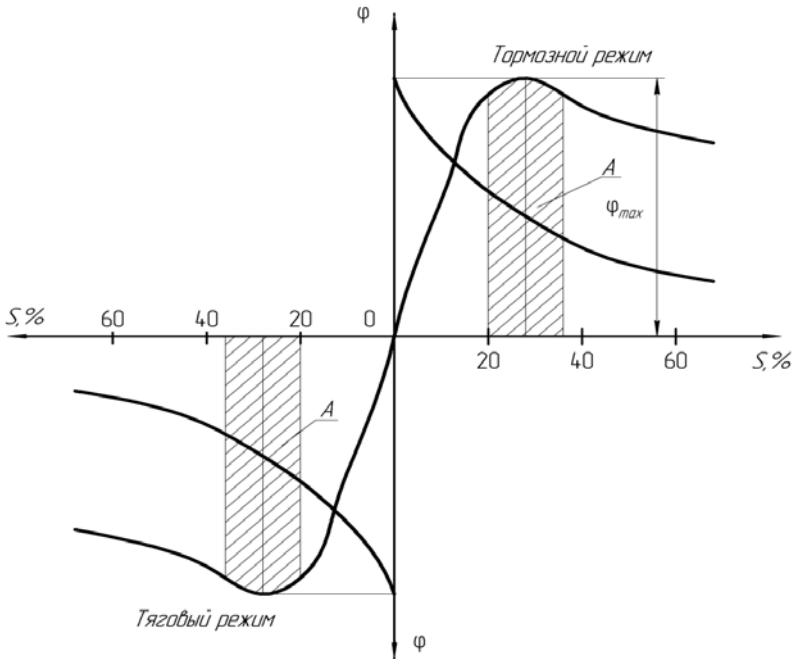


Рисунок 1.4 – Изменение коэффициента сцепления ϕ в зависимости от коэффициента относительного скольжения S пятна контакта колеса

Принципиальная схема управления представлена на рисунке 1.5. ПБС содержит блок управления 6 четырех датчиков угловой скорости колес 1, датчика давления 2 во впускном трубопроводе, выключателя положения дроссельной заслонки 3, блока усилителей 5 и сигнальной лампы 7. Система функционирует следующим образом. В блок управления заложены табличные данные о допустимых соотношениях степени буксования и тягового усилия колес для шести типов дорожного покрытия.

Для определения величины буксования ведущих колес используют показания датчиков, установленных на ведущих и ведомых колесах автомобиля. Тяговое усилие рассчитывается на основе измерения

разрежения во впускном трубопроводе, измеряемого датчиком. Кроме того, осуществляется контроль за количеством работающих цилиндров и частоты вращения коленчатого вала двигателя, фиксируемых электронной системой зажигания/впрыска 4.

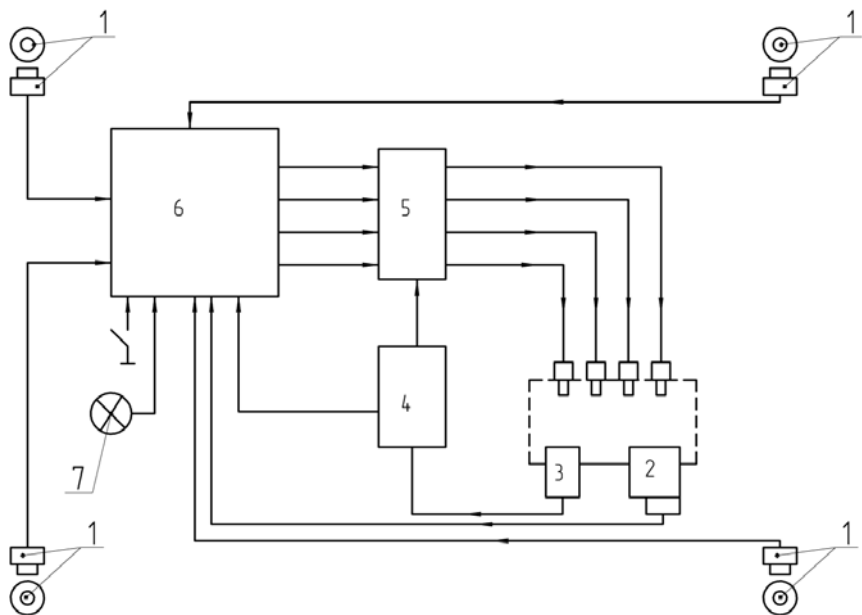


Рисунок 1.5 – Схема противобуксовочной системы фирмы «Вольво»

Тип дорожного покрытия рассчитывается компьютером на основе текущего соотношения между тяговым усилием и величиной буксования. Для каждого типа дорожного покрытия составляется таблица предельных значений величины буксования, при которых производится отключение очередного цилиндра.

Перед началом регулирования полагают, что автомобиль движется с максимальным использованием коэффициента сцепления, при котором работают все цилиндры двигателя, развивая максимальное давление сгорания газов в цилиндрах. В случае перехода на опорную поверхность с более низким коэффициентом сцепления, при реализации двигателем того же момента, буксование увеличивается, а тяговое усилие уменьшается пропорционально изменению коэффициента сцепления.

Компьютер проводит расчет коэффициентов сцеплений и осуществляет регулирование путем уменьшения количества работающих цилиндров по новой комбинации «величина буксования/число работающих цилиндров».

Система предусматривает два режима работы: нормальный, при скорости автомобиля более 40 км/ч, и режим разгона до скорости 40 км/ч. Для второго режима предусмотрены большие значения допустимого проскальзывания ведущих колес.

Известна ПБС фирмы «Вольво» [1–3, 31, 60], которая производит регулирование с последовательным воздействием на турбонаддув и подачу топлива. В этой системе, если разность угловых скоростей ведомых и ведущих колес превышает пороговое значение (например, на 5 %), блок управления формирует сигнал управления на открытие заслонки системы наддува и перепуск отработавших газов в обход турбины. Давление наддува падает, мощность двигателя снижается. Если эти мероприятия не приводят к уменьшению буксования, то блок управления начинает воздействовать на электроклапаны форсунок, сокращая подачу топлива. Снижение подачи топлива осуществляется прямо пропорционально изменению буксования колес.

Фирма «ФАГ Кюгельфишер» разработала более простую и дешевую ПБС с воздействием на тормозные механизмы ведущих колес под названием Electronischen Differentialbremse EDS («Электронная блокировка дифференциала»). Система позволяет повысить уровень проходимости и динамику разгона при движении по опорной поверхности типа «микст». Принципиальная схема системы представлена на рисунке 1.6.

В электронный блок управления 7 поступают сигналы с датчиков 2 угловой скорости колеса. Если разность скоростей выходит за пределы, характерные для криволинейного движения, то блок управления подает команду на притормаживание забегающего колеса посредством пневмогидравлического модулятора 4.

Модулятор представляет собой вакуумный цилиндр, к которому с обеих сторон присоединены гидроцилиндры, а трубопроводы связаны с магистралями рабочих тормозных цилиндров 3. Вакуумный цилиндр разделен поршнем на две полости. Поршень может независимо перемещать поршни гидроцилиндров модулятора. Обе полости вакуумного цилиндра связаны с воздушным насосом 5, который в зависимости от направления вращения электродвигателя 6 создает в полостях избыточное давление или вакуум. При поступлении от управляющего блока сигнала, указывающего на повышенную пробуксовку одного из колес, насос



включается, поршень вакуумного цилиндра перемещается и воздействует на поршень соответствующего гидроцилиндра. Дальнейшее движение поршней приводит к появлению давления в соответствующем колесном тормозном цилиндре. Буксующее колесо затормаживается, в результате чего на другое колесо через дифференциал 1 передается дополнительный крутящий момент, по величине равный тормозному моменту. Таким образом, из-за притормаживания буксующего колеса получается эффект, аналогичный блокировке дифференциала. Данное положение поршней модулятора сохраняется до тех пор, пока значения угловых скоростей не сравняются или скорость автомобиля не достигнет 40 км/ч, после чего модулятор отключается.

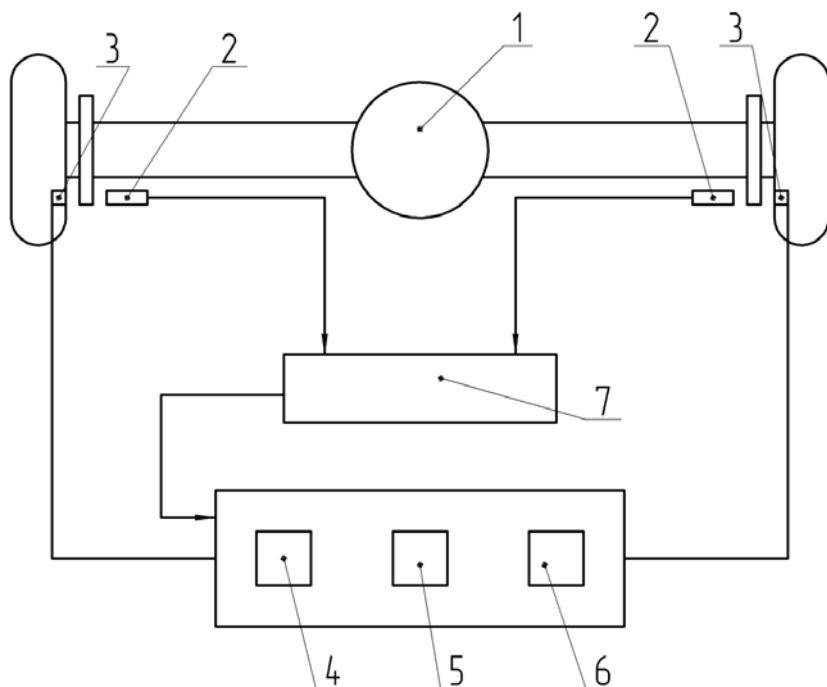
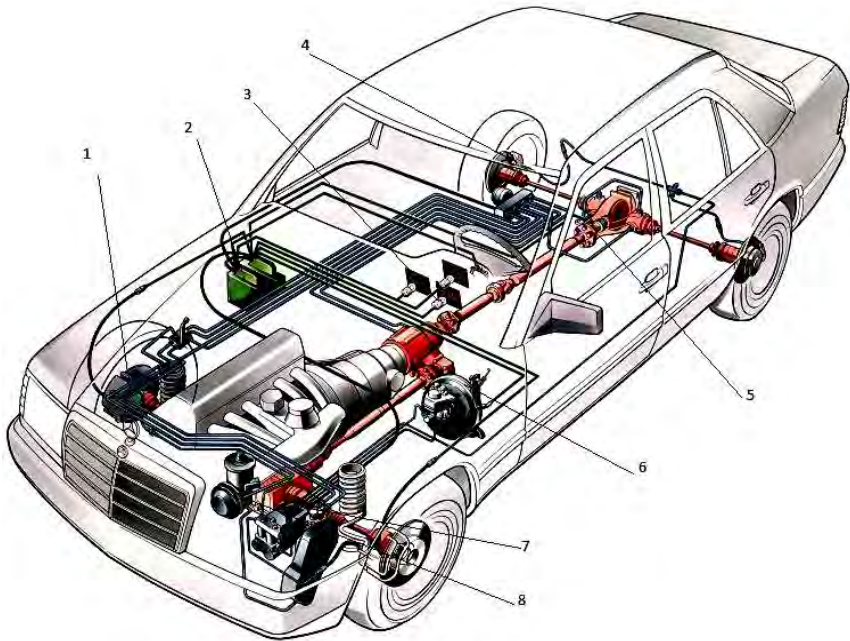


Рисунок 1.6 – Схема противобуксовочной системы фирмы «ФАГ Кюгельфишер»

Использование пневмогидравлического модулятора позволяет избежать больших градиентов давления в колесных цилиндрах, чем обеспечивается плавный процесс регулирования. При торможении противо-

буксовочная система отключается посредством сигнала, получаемого от выключателя, фиксирующего положение педали тормоза.

Фирма «Даймлер-Бенц» в целях улучшения тяговых свойств и повышения активной безопасности автомобилей разработала автоматическую электронно-управляемую систему 4-MATIC, которую по выполняемым функциям можно отнести к противобуксовочным. Схема компоновки элементов системы показана на рисунке 1.7 [1–3, 32, 60].



1, 4 – датчики угловых скоростей вращения колес; 2 – электронные блоки ABS-2 и 4-MATIC; 3 – датчик угла поворота рулевого колеса; 5 – гидравлически блокируемый дифференциал; 6 – главный тормозной цилиндр; 7 – гидроагрегат ABS-2; 8 – насос

Рисунок 1.7 – Схема компоновки элементов системы 4-MATIC на легковом автомобиле

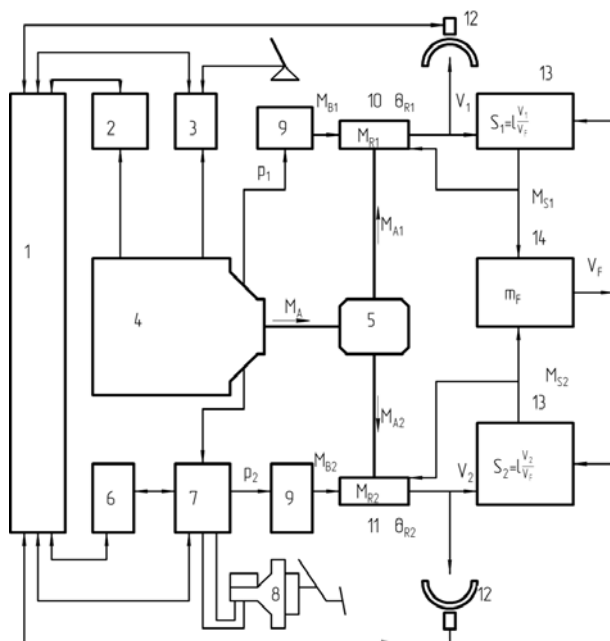
Система в качестве информационных элементов использует три датчика АБС (два на передней оси и один на задней) и датчик угла поворота рулевого колеса. При необходимости могут осуществляться автоматическая блокировка межосевого дифференциала повышенного

трения и блокировка межколесного заднего дифференциала повышенного трения. Дифференциалы блокируются при подаче жидкости от гидроагрегата системы 4-MATIC.

1.3 Комбинированные системы САБ АТС (АБС/ПБС)

Противобуксовочная система (ПБС, ASR) поддерживает проскальзывание ведущих колес в пределах допустимого уровня, выполняя следующие функции: повышение силы тяги, поддержание курсовой устойчивости автомобиля. Комплексные системы АБС/ПБС представляют собой системы с замкнутой обратной связью.

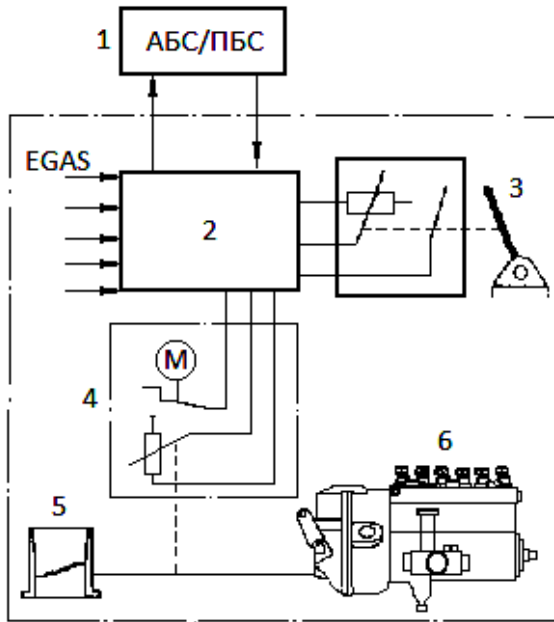
Для регулирования момента на ведущих колесах при замкнутой обратной связи система АБС/ПБС фирмы «Бош» (рисунок 1.8), например, использует электронное управление (EGAS).



1 – блок управления ABS/ASR; 2 – блок управления Motronic; 3 – блок управления EGAS; 4 – двигатель, сцепление, коробка передач; 5 – главная передача; 6 – источник давления ASR; 7 – гидравлический модулятор ABS; 8 – главный тормозной цилиндр; 9 – колесные тормоза; 10 – колесо 1; 11 – колесо 2; 12 – датчик частоты вращения колеса; 13, 14 – блок обработки информации

Рисунок 1.8 – Принципиальная схема управления АБС/ПБС для легкового автомобиля

Принципиальная схема управления двигателем представлена на рисунке 1.9 [3].



1 – блок управления АБС /ПБС; 2 – блок управления контроллером EGAS; 3 – педаль управления дроссельной заслонкой; 4 – серводвигатель; 5 – дроссельная заслонка; 6 – топливный насос

Рисунок 1.9 – Принципиальная схема управления двигателем для системы ПБС

В системе положение педали подачи топлива в двигатель определяется с помощью электронного датчика, сигнал от которого поступает в блок обработки и формирования сигналов управления. Серводвигатель реагирует на сигнал управления посредством восстановления позиции дроссельной заслонки (или рычага управления топливным насосом в дизельных двигателях), затем он передает данные о положении дроссельной заслонки снова в блок управления.

Короткое подтормаживание колес, как правило, используется в качестве дополнения к работе EGAS. При этом улучшение тяговой характеристики обеспечивается получением минимального относительного проскальзывания контакта колеса относительно опорной поверхности.

Гидравлический модулятор АБС системы фирмы «Бош» одновременно служит исполнительным механизмом ПБС.

Соленоидные клапаны ABS позволяют быстро и точно регулировать тормозной момент на ведущих колесах.

Из анализа современных систем АБС/ПБС следует, что основой функционирования ПБС служит система АБС, в которой источниками первичной информации являются те же датчики кинематических параметров колес, а для формирования сигналов управления используется известная диаграмма (см. рисунок 1.4) изменения коэффициентов сцепления в зависимости от коэффициента относительного скольжения пятна контакта колес. Причем более сложные системы ПБС производят расчеты силовых факторов в контакте колес АТС с опорной поверхностью.

Исполнительными механизмами системы АБС/ПБС (агрегатами) служат тормозные механизмы, двигатель и автоматические системы блокировки межосевых и межколесных приводов. Причем при использовании тормозных механизмов повышение тяговых качеств достигается за счет диссипации энергии в самих тормозных механизмах. При блокировке межколесного дифференциального механизма отсутствует гарантия появления значительного разворачивающего момента. Если в качестве исполнительного механизма используется блокировка межосевого дифференциального механизма, то такое регулирование не застраховано от возникновения циркуляции мощности в трансмиссии и значительных разворачивающих моментов.

В приведенных вариантах регулирования отсутствует логика построения приоритетных сигналов управления, формирующих сигналы управления исполнительными механизмами, что представляется весьма важным.

В развитии систем АБС/ПБС просматривается тенденция повышения уровня информативности с помощью увеличения числа датчиков кинематических параметров. Например, в более сложные системы, как было отмечено ранее, включены датчики углов поворота управляемых колес автомобиля.

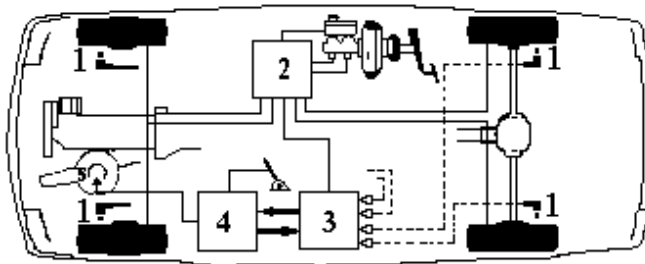
Недостаток способа управления ПБС в том, что критерием формирования сигналов управления является заведомо заданная разность угловых скоростей вращения ведущих колес автомобиля. Подобная заставка ориентирована на установление того факта, что условия сцепления ведущих колес различны и автоматическая система должна формировать сигнал управления двигателем, тормозами и приводами с целью повышения тяговых свойств машины.

Необходимо отметить наиболее существенный недостаток алгоритмов АБС/ПБС – это отсутствие обоснований по приоритетным сигналам формирования сигналов управления исполнительными механизмами, агрегатами.

Например, применение одного из способов, позволяющего повысить тяговые свойства машины (блокировка межколесного дифференциального механизма), может отрицательно повлиять на устойчивость движения АТС при больших скоростях.

Наращивание информативности систем АБС/ПБС за счет увеличения числа датчиков кинематических параметров связано с необходимостью более точного определения коэффициента сцепления или же силовых факторов в контакте колес с опорной поверхностью (тормозной момент, сила тяги). Сама проблема установки дополнительных датчиков не составляет особых технических трудностей. Однако алгоритм обработки информации становится сложнее, и вместе с этим стоимость системы существенно повышается.

Компоненты системы АБС/ПБС представлены на рисунке 1.10.



1 – датчик частоты вращения колеса; 2 – гидравлический модулятор АБС/ПБС; 3 – блок управления АБС/ПБС; 4 – блок управления EGAS

Рисунок 1.10 – Элементы системы АБС/ПБС

Анализ функционирования АБС/ПБС показывает, что наиболее непросто реализуется алгоритм обеспечения устойчивости движения, для которого необходимо определение (измерение) боковых реакций колес.

В алгоритмах существующих АБС/ПБС также наблюдается дефицит информации, поэтому повышение информативности современных САБ за счет увеличения датчиков кинематических параметров является реальной необходимостью.

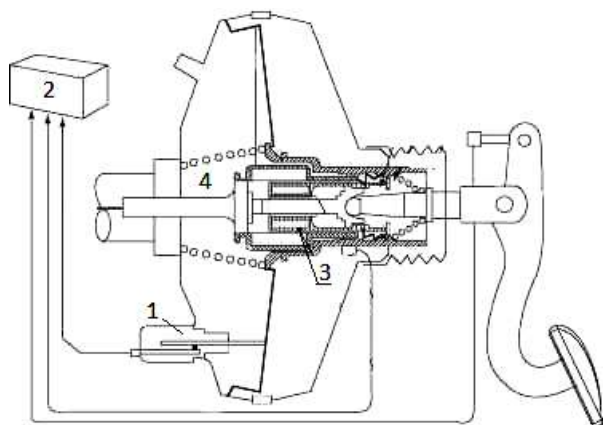
В результате можно сделать вывод, что непосредственное измерение и анализ сил в контакте колес с опорной поверхностью при торможении АТС – обязательное условие создания эффективных АБС, адаптивных к режимам и условиям торможения колес АТС.

1.4 Дополнительные опции современных САБ АТС

Системы активной безопасности постоянно совершенствуются. Широкое распространение на АТС получили Brake Assist – система динамического контроля за торможением, EBV (Elektronische Bremskraftverteilung) – электронный распределитель тормозных сил (ПТС), EDS (Elektronische Differentialsperre) – электронная блокировка дифференциала (ЭБД).

Основное предназначение системы Brake Assist – постоянный контроль скорости приведения в движение педали тормоза. В системе BAS установлен специальный датчик, который следит за скоростью перемещения педали тормоза [3]. При экстренном нажатии на педаль тормоза электромагнит, встроенный в механизм вакуумного усилителя тормозов, самостоятельно «втягивает» педаль в пол, обеспечивая максимально возможную скорость нарастания давления в тормозной системе. При служебных торможениях автомобиля Brake Assist не функционирует.

На рисунке 1.11 приведено устройство Brake Assist фирмы «Лукас».



1 – датчик перемещения мембраны усилителя; 2 – блок управления системы ESP; 3 – электромагнит; 4 – главный тормозной цилиндр

Рисунок 1.11 – Механизм устройства Brake Assist фирмы «Лукас», встроенный в вакуумный усилитель тормозов

Впервые система BAS фирмы «Мерседес» появилась в 1999 г. на автомобилях Е-класса [3]. На автомобилях А-класса устанавливают модернизированный вариант, где датчик перемещения мембраны усилителя работает более четко.

В системе BAS в дополнение к информации от датчиков кинематических параметров вращения колес автомобиля используются датчики давления рабочей среды в тормозном приводе. Формирование же сигналов управления осуществляется на основе замедления автомобиля и скорости нарастания давления в его приводе.

В случае необходимости резкого торможения Brake Assist автоматически создает максимальное давление в тормозном приводе вплоть до срабатывания ABS. При резком нажатии на педаль тормоза система динамического контроля торможения за доли секунды устанавливает максимальное давление в тормозном приводе, сокращая тем самым тормозной путь автомобиля.

Главное назначение EDS – распределение тормозных сил в момент начала торможения автомобиля, когда, согласно законам физики, под действием сил инерции происходит частичное перераспределение нагрузки между колесами передней и задней осей. Основная нагрузка при торможении с движения передним ходом приходится на колеса передней оси, на которых может быть реализован больший тормозной момент, в то время как колеса задней оси, напротив, разгружаются и при приложении к ним большого тормозного момента могут заблокироваться. Во избежание этого EDS (PTC), обработав данные, получаемые от датчиков ABS и датчика, определяющего положение педали тормоза, воздействует на тормозную систему и перераспределяет тормозные силы на колесах пропорционально действующим на них нагрузкам. PTC вступает в действие до начала работы ABS или при несрабатывании ABS из-за неисправностей.

ЭБД представляет собой логичное дополнение к функциям антиблокировочной системы (ABS), благодаря которому повышается потенциал безопасности автомобиля, улучшаются его тяговые характеристики при движении в неблагоприятных дорожных условиях, а также облегчаются процессы трогания с места, интенсивного разгона, движения на подъем и эксплуатации автомобиля в сложных погодных условиях. На поворотах колеса автомобиля, установленные на одной оси, проходят пути разной длины, из-за чего их угловые скорости тоже должны быть разными. Данное несовпадение скоростей компенсируется за счет работы дифференциального механизма. При этом имеются и отрицательные стороны.

Особенностью конструкции дифференциала является то, что он (при равенстве правой и левой шестерен), независимо от условий движения, осуществляет равное распределение крутящего момента между колесами ведущей оси. При прямолинейном движении на покрытии с равными коэффициентами сцепления на поведении автомобиля это не сказывается. Когда же ведущие колеса автомобиля попадают на участок с различными коэффициентами сцепления, колесо, катящееся по участку дороги с меньшим коэффициентом сцепления, начинает пробуксовывать. В силу условия равенства крутящих моментов, обеспечиваемого дифференциалом, буксующее колесо ограничивает тягу противоположного колеса. Блокировка дифференциала при несовпадении условий сцепления левых и правых колес устраняет эту равномерность. Получая сигналы от датчиков частоты вращения, имеющихся в составе ABS, ЭБД определяет угловые скорости ведущих колес и непрерывно сопоставляет их между собой. При несовпадении угловых скоростей, появляющемся, например, при буксовании одного из колес, оно подтормаживается до тех пор, пока не сравняется по частоте вращения с небуксующим ведущим колесом. В результате такого регулирования возникает реактивный момент, который, в случае необходимости, создает эффект механически заблокированного дифференциала, а колесо, имеющее лучшие условия сцепления с дорожным покрытием, получает возможность передавать большее тяговое усилие.

При разности частот вращения около 110 об/мин система автоматически включается в работу и без ограничений действует на скоростях до 80 км/ч. Система ЭБД действует и при движении задним ходом, однако на поворотах отключается.

ADK (Abstandsdistanzkontrolle) – система контроля дистанции при парковке, которая посредством ультразвуковых сенсоров определяет расстояние до ближайшего препятствия. Она включает в себя ультразвуковые преобразователи и блок управления. О величине расстояния до препятствия водителя информирует акустический сигнал, характер звучания которого изменяется при сокращении расстояния до препятствия. Чем меньше расстояние, тем короче пауза между отдельными сигналами. Когда до препятствия остается 0,2 м, звучание сигнала становится непрерывным. Акустический сигнал начинает работать, когда расстояние до препятствия составляет:

- для угловых сенсоров переднего бампера – 0,8 м;
- для фронтальных сенсоров переднего бампера – 1,2 м;
- для угловых сенсоров заднего бампера – 0,8 м;

– для фронтальных сенсоров заднего бампера – 1,6 м.

Помимо обозначения ADK (Abstandsdistanzkontrolle), для данной системы могут использоваться аббревиатуры PDC (Parking distance control) и Parktronik.

1.5 Резюме по оценке качества функционирования современных АБС/ПБС

Страховые компании США провели анализ дорожно-транспортных происшествий и оказалось, что автомобили с АБС чаще становятся участниками аварий, чем автомобили с обычной тормозной системой [11]. Так, на сухих дорожных покрытиях количество ДТП увеличилось на 42 %, а на влажных – на 65 %. Водитель не учитывает тот факт, что АБС не повышает сцепления колес автомобиля с дорогой. Система предотвращает блокировку колес при торможении автомобиля, что позволяет увеличить устойчивость курсового движения за счет повышения коэффициента сцепления колес в боковом направлении плоскости колес. Кроме того, АБС не уменьшает тормозного пути, а наоборот, может его увеличить. Другой вопрос – может ли АБС всегда достоверно идентифицировать состояние контакта колес с опорной поверхностью? Например, если возникает желание тормозить автомобиль на наклонной плоскости, то вместо остановки автомобиля может получиться обратный эффект (АБС не допускает блокировки колес). Поэтому в плане улучшения безопасности автомобиля главным по-прежнему остается водитель.

Современные АБС обладают достаточно высокой надежностью. Электронные блоки системы отказывают крайне редко. Наиболее уязвимыми в АБС являются колесные датчики, размещенные вблизи вращающихся деталей ступицы или полуосей. Место расположения датчиков безопасным не назовешь: различные загрязнения или даже слишком большой люфт в подшипниках ступицы способны вызывать сбой в работе датчиков, которые и становятся чаще всего виновниками неполадок в системе. Кроме того, на работоспособность АБС влияет величина напряжения между клеммами аккумулятора. При уменьшении напряжения до 10,5 В и ниже АБС вообще может самостоятельно отключить электронный блок. Предохранительное реле может также сработать при недопустимых колебаниях и всплесках напряжения в сети автомобиля. Чтобы этого не случилось, нельзя разъединять электрические разъемы при включенном зажигании и работающем двигателе. Нежелательно заводить двигатель методом «прикуривания» от постороннего аккумулятора либо

предоставлять для этой цели в качестве «донора» собственный автомобиль. Кроме того, необходимо строго следить за состоянием контактных соединений на генераторе. Если автомобилю потребовался ремонт с применением сварки, то перед началом работ нужно отсоединить проводку от электронного блока управления АБС. Также блок не рекомендуется подвергать нагреву свыше 85 °С более двух часов. Это к тому, если автомобиль предполагается красить, а затем сушить горячим методом в специальной камере в автосервисе. Существует ряд особенностей, связанных с обслуживанием или ремонтом тормозной системы с АБС. Например, перед заменой тормозной жидкости следует разрядить аккумулятор давления в гидроблоке системы. Для этого при выключенном зажигании необходимо раз двадцать нажать на педаль тормоза.

Антиблокировочная система (АБС) вне зависимости от действий водителя предотвращает блокировку колес. Таким образом, автомобиль с АБС при любых коэффициентах сцеплений колес при экстренном торможении сохранит устойчивость движения, но может потерять эффективность торможения.

Противобуксовочная система (ПБС) на основе контроля разности угловых скоростей вращения ведущих колес автомобиля осуществляет автоматическую блокировку межколесных и межосевых дифференциальных механизмов, тем самым повышая их тяговые свойства. Однако необходимо отметить, что при этом на больших скоростях движения автомобиля может произойти потеря устойчивости его курсового движения.

1.6 Системы регулирования динамики движения АТС (СРДД, VDC)

Современные автомобили комплектуются системами, обеспечивающими устойчивость их движения. Эти системы предотвращают занос автомобиля на любой скорости и любом дорожном покрытии, корректируя движение подтормаживанием отдельных колес и уменьшением подачи топлива в двигатель. Чаще всего системы обозначаются термином ESP (Electronic Stability Program) [1–3, 11, 17, 55]. Аббревиатурой ESP официально пользуются фирмы «Мерседес» и «Ауди». Другие компании именуют аналогичные системы иначе. У БМВ – это DSC, у «Вольво» – DSTC, у «Хонда» – VSA, у «Тойота» – VSC, у «Альфа Ромео» – VDS.

Электронная программа стабилизации является дальнейшим развитием систем ABS, ASR (регулирование привода) и EBV (электронное распределение тормозных сил). Датчики регистрируют режимы работы

двигателя, скорость вращения каждого из колес, давление в тормозной системе, угол поворота руля, поперечное ускорение. Сигналы с датчиков передаются блоку электронного управления EPS. Блок, отработав сигналы и вычислив усилие торможения для каждого колеса, выдает команду исполнительным механизмам. Поскольку блок электронного управления ESP связан с блоком электронного управления двигателем, то мощность и обороты коленчатого вала также будут соответствующим образом откорректированы.

Рассмотрим движение автомобиля с включенной ESP по кривой траектории. Возникающая центробежная сила стремится сместить автомобиль к внешней стороне кривой или опрокинуть его. Устойчивость автомобиля против бокового скольжения обеспечивается силами трения и сцепления, возникающими в контакте колеса с опорной поверхностью.

Когда автомобиль входит в поворот на большой скорости, водитель, осознав, что выбрал большую скорость и окажется на встречной полосе, начинает резко тормозить или «доворачивает» руль в сторону поворота (рисунок 1.12, а).

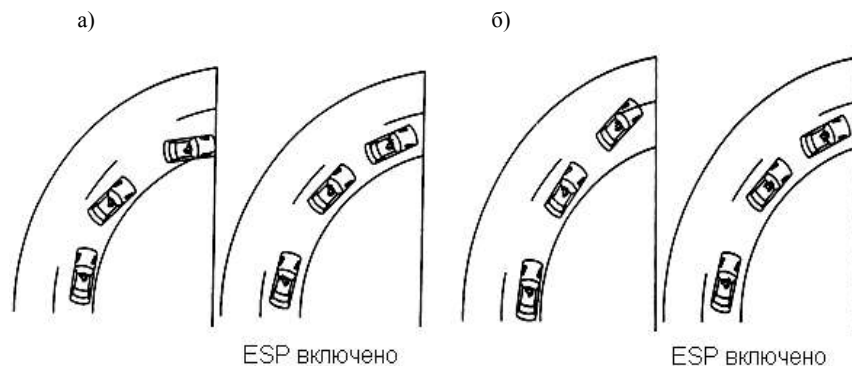
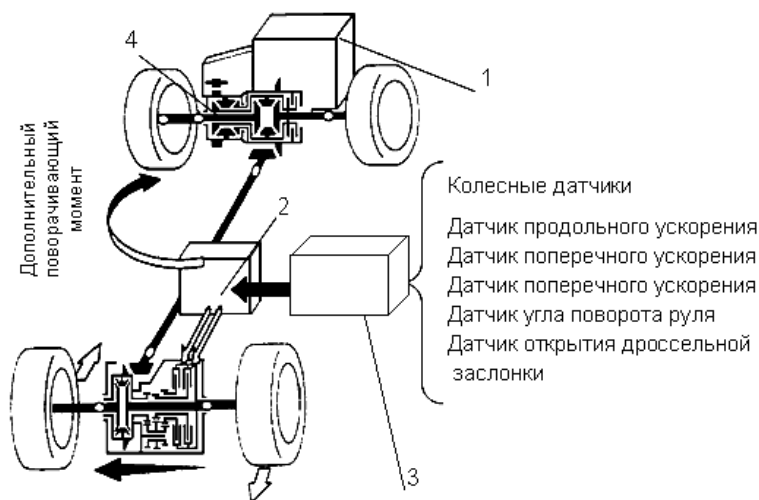


Рисунок 1.12 – Регулирование динамики движения полноприводного автомобиля

Анализируя сигналы от датчиков и сверившись с памятью, в которой заложены различные ситуации, ESP выбирает оптимальное для данного случая решение. Система перераспределяет тормозные силы на колесах так, чтобы их результирующая оказалась приложенной к левому переднему колесу. Возникающий при этом момент противодействует поворачивающему моменту, стремящемуся развернуть автомобиль вокруг вертикальной оси.

Из-за того, что при торможении колеса блокируются, автомобиль направляется на встречную полосу (рисунок 1.12, б). При работе ESP система анализирует заданное рулем направление и реальное поведение автомобиля. Она перераспределяет тормозные силы на колесах так, чтобы не допустить блокировки колес. Тогда результирующая сила торможения прикладывается к правому заднему колесу и осуществляется стабилизация положения автомобиля на полосе движения.

Несколько иначе работает система AYC-Active Yaw Control. Впервые она была установлена фирмой «Мисубиши» на седанах «Лансер Ево В ГСР» в 1998 г. [2, 11, 79]. Исполнительный механизм системы размещался в межколесном приводе заднего моста автомобиля, а информативность системы наращивалась за счет увеличения числа датчиков, измеряющих кинематические параметры масс (рисунок 1.13).



1 – двигатель; 2 – гидросистема; 3 – блок управления; 4 – межосевой дифференциал с вязкостной муфтой

Рисунок 1.13 – Схема полноприводной трансмиссии автомобиля «Мисубиши»

Дифференциал имеет два фрикциона – правый и левый. По команде электроники один из фрикционов вступает в работу, дифференциал перестает быть симметричным. Задняя ось становится подруливающей.

Причем этот эффект достигается не поворотом колеса, а приложением разных тяговых сил к правому и левому колесам, вследствие чего создается дополнительный поворачивающий момент. Например, при правом повороте АYC включает левый фрикцион межколесного дифференциала заднего моста. На левое колесо подается большая тяговая сила. Это создает поворачивающий момент, который помогает направить автомобиль в поворот (рисунок 1.14, а).

При разгоне на неоднородной опорной поверхности под ведущими колесами система АYC играет роль самоблокирующегося дифференциала. Большой крутящий момент подается на колесо, находящееся в лучших сцепных условиях (рисунок 1.14, б). Это способствует эффективному набору скорости и препятствует отклонению автомобиля от заданной траектории движения. Аналогичная система разработана фирмой «Хонда», носит название ATTS (Active Torque Transfer System) и устанавливается на переднеприводных автомобилях.

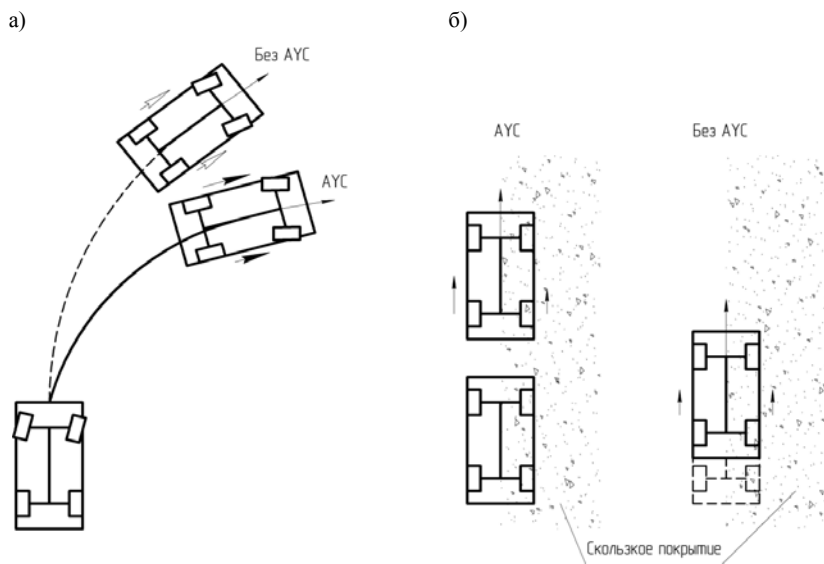


Рисунок 1.14 – Схема работы системы АYC-Active Yaw Control

Отметим, что одинаковые по назначению системы имеют конструктивные отличия, различны их эксплуатационные характеристики и алгоритмы функционирования. Почти все новые системы фирмы вначале

адаптируют к легковым машинам и только потом к грузовому транспорту, тягачам, автобусам [83].

Классификационные признаки современных систем активной безопасности АТС, использующих кинематические параметры, определяются факторами возникновения критической ситуации. Критические ситуации подразделяются на микроуровни и макроуровни [1–3].

К причинам возникновения критических ситуаций на микроуровне относят: неблагоприятные сцепные условия колес с опорной поверхностью; граничное проскальзывание колес; блокирование колеса при торможении; буксование колеса в тяговом режиме движения; условие «микст» (μ -split); нарушение контакта колес с опорной поверхностью.

Причина возникновения критических ситуаций на макроуровне – нарушение траектории движения (прямолинейного, криволинейного) АТС.

Исходя из принятых классификаций системы активной безопасности (САБ) подразделяются на системы регулирования тормозного (АБС, регуляторы тормозных сил), тягового (ПБС, MSR-регулирование проскальзывания колеса при прекращении нажатия на педаль акселератора и т. д.) и транспортного (комбинированные системы АБС/ПБС, DSC-регулирование устойчивости путем снижения тяговых сил и др.) режимов движения.

Общий принцип регулирования динамики движения VDC (СРДД) предполагает (в дополнение к системе АБС/ПБС) обязательное использование датчиков кинематических параметров корпуса автомобиля, угла поворота управляемых колес и некоторых других вспомогательных систем. Очевидно, что сенсорная часть такой системы заметно наращивается.

Классификация систем регулирования динамики движения представлена на рисунке 1.15 [1–3]. Обобщая современную структурную классификацию САБ, необходимо отметить то, что они связаны с использованием низкоинформативных источников первичной информации, каковыми являются кинематические параметры. Несмотря на многообразие существующих систем САБ (см. рисунок 1.15), стандартизации подлежат только лишь антиблокировочные системы (АБС). Кроме того, принципы формирования сигналов управления исполнительными механизмами почти у всех САБ основаны на анализе кинематических параметров вращения колес и масс колесной машины.

Практически во всех случаях алгоритмы САБ, формирующие сигналы управления, предусматривают косвенные расчеты по определению силовых факторов в контакте колес с опорной поверхностью, основанных на результатах измерения кинематических параметров.

Появление систем регулирования динамики движения автомобиля (СРДД, международное обозначение – VDC) объясняют тем, что функции АБС и ПБС ограничивались лишь корректировкой основных порогов срабатывания. Стремление к учету в алгоритмах управления непрогнозируемых внешних воздействий привело к созданию СРДД, позволяющих автоматическую коррекцию параметров управления. Таким образом, СРДД являются дальнейшим логическим развитием АБС/ПБС, использующих в качестве источников первичной информации кинематические параметры управляемого объекта.



Рисунок 1.15 – Классификация СРДД (VDC)

СРДД производит: корректировку формируемых параметров управления при произвольном движении; повышение курсовой устойчивости автомобиля путем получения максимальных боковых реакций колес по условиям их сцепления с опорной поверхностью на всех режимах движения; сохранение управляемости автомобиля путем максимального использования коэффициентов сцеплений; максимальную реализацию потенциала функционирования ABS и ASR.

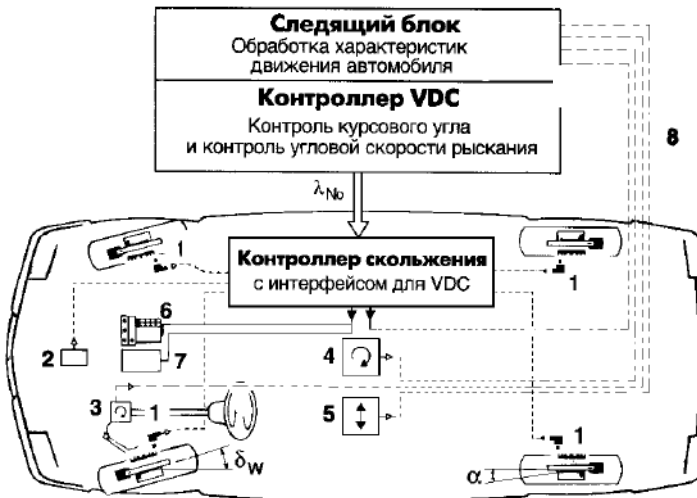
Современная система управления динамикой автомобиля (СРДД или VDC) представляет собой систему с обратной связью, главное назначение которой – сохранить курсовую устойчивость движения автомобиля. Она объединена с тормозной системой и силовой передачей. Полагают, что VDC представляет собой систему с упреждающим прогнозом (упреждает «опережение» или «запаздывание» поворота автомобиля во время его управления [1–3]).

В [1–3] отмечается, что в алгоритме функционирования СРДД характеристика рулевого привода автомобиля имеет особое значение, т. к. она оказывает существенное влияние на точность расчета относительного скольжения управляемых колес при криволинейном движении автомобиля.

В алгоритме фирмы «Бош» СРДД АТС используется аналитическая форма функциональной связи между управляемыми колесами, основанная на кинематике плоского движения автомобиля. Функциональная связь между углами поворота управляемых колес автомобиля позволяет улучшить алгоритм регулирования курсового угла остова машины, который должен, в свою очередь, подчиняться закономерностям угла поворота управляемых колес.

Алгоритм управления рассчитан на коррекцию трех независимых кинематических параметров движения плоской модели автомобиля.

На рисунке 1.16 показана структура управления СРДД фирмы «Бош» [3], состоящая из главного контроллера VDC и контроллеров скольжения. С помощью главного контроллера вводятся исходные величины для контроллера скольжения в виде заданных значений коэффициентов относительного скольжения колес и геометрических координат. Следящий блок определяет диапазон их изменений.



1 – датчик скорости вращения колес; 2 – датчик давления; 3 – датчик положения рулевого колеса; 4 – датчик угловой скорости относительно вертикальной оси; 5 – датчик поперечного ускорения; 6 – модулятор давления; 7 – управление работой двигателя

Рисунок 1.16 – Обобщенная система управления VDC

Элементами СРДД [1–3] являются: датчики измерения вращения колес 1; датчик давления в тормозной системе 2; датчики измерения углов поворотов каждого управляемого колеса; датчик угловой скорости корпуса автомобиля вокруг вертикальной и горизонтальной осей; датчики поперечного и продольного ускорений корпуса автомобиля; датчик давления в тормозном приводе; исполнительный механизм подачи топлива в двигатель; следящий блок СРДД 8.

На основании кинематических сигналов, полученных от датчиков, производятся расчеты коэффициентов сцепления колес с опорной поверхностью, позволяющих расчеты по определению сил в контакте колес с опорной поверхностью, коэффициентов относительного скольжения и т. п.

В процессе регулирования с помощью интерфейса CAN (бортовой контроллер связи) может поддерживаться необходимый крутящий момент двигателя, соответствующий условиям сцепления ведущих колес с опорной поверхностью. Интеллектуальной системой СРДД является контроллер, задача которого состоит в определении связи между углом поворота управляемых колес, скоростью движения автомобиля и угловой скоростью остова вокруг вертикальной оси в течение всего времени движения автомобиля. Причем за основу принимается движение с фиксированным радиусом траектории центра масс автомобиля с постоянной скоростью движения, которая в дальнейшем служит критерием оценки замедленного или ускоренного движения в каждый момент времени.

При расчете динамических процессов алгоритм VDC использует велосипедную модель движения автомобиля с позиционными геометрическими связями [3] («одноколейная» модель автомобиля).

Как известно, плоская велосипедная модель относится к классу неголономных механических систем. Такая система для исследования динамики движения АТС требует дополнительных уравнений кинематических связей. Поэтому в системе VDC используют метод решения обратных задач динамики. Кроме того, значения измеряемых кинематических параметров движения остова автомобиля непрерывно сравнивают с базовыми. При обнаружении значительной разницы кинематических параметров от базовых значений, определяемых на основе расчета плоской модели, осуществляется формирование сигналов управления исполнительными механизмами (агрегатами).

Для выяснения принципа работы контроллера VDC рассмотрим упрощенную блок-схему управления (рисунок 1.17).

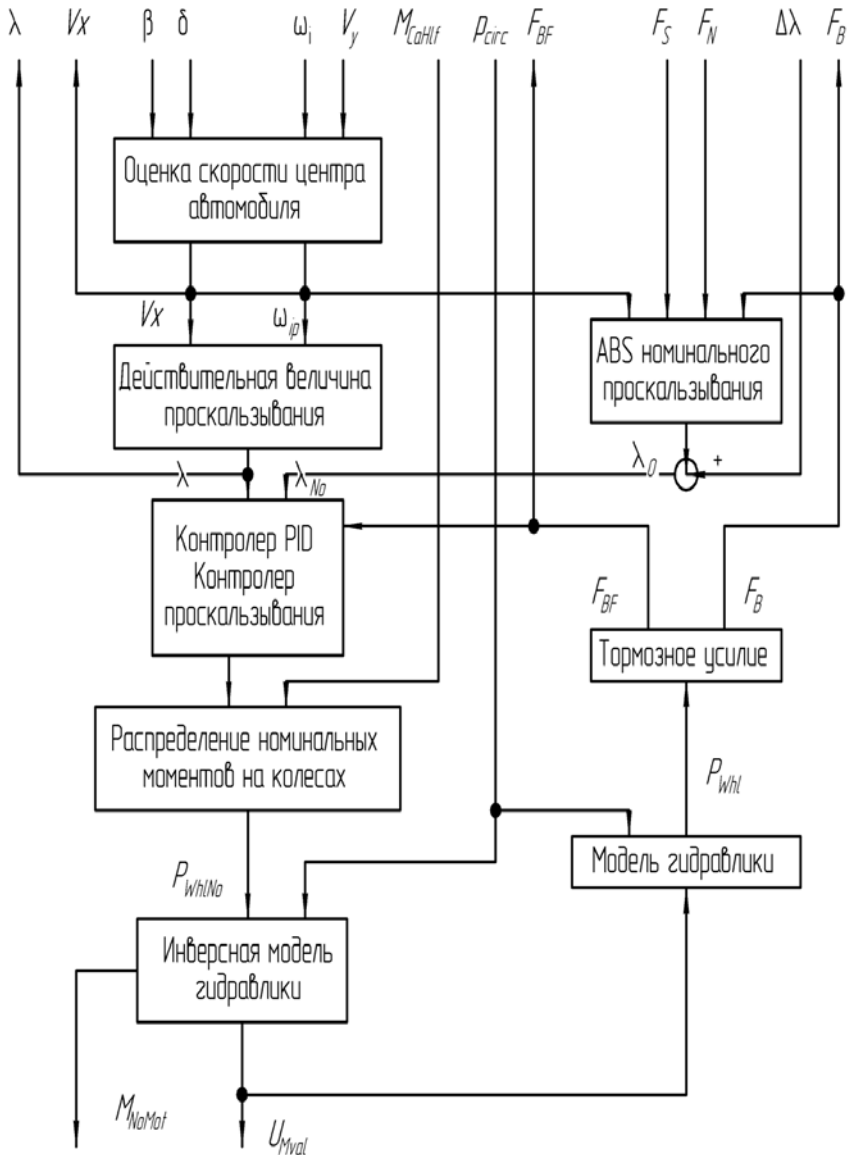


Рисунок 1.17 – Блок-схема контроллера фирмы «Бош» с исходными и конечными параметрами

Используя измеряемые переменные величины (угловая скорость вокруг вертикальной оси ψ_{No} , угол поворота рулевого колеса δ и попе-

речная составляющая ускорения автомобиля α_y), производят расчеты продольной скорости движения автомобиля V_x и тормозной силы F . Следящий блок на основе упрощенной модели автомобиля определяет курсовой угол β , угол увода α , поперечную составляющую скорости движения автомобиля V_y , силы, действующие на колесо в поперечном и вертикальном направлениях, F_S и F_N , а также результирующую силу F_R колес в плоскости дороги.

Номинальный курсовой угол β_{NO} и номинальная угловая скорость вокруг вертикальной оси $\dot{\beta}_{NO}$ определяются при помощи следующих данных: угла поворота рулевого колеса δ , задаваемого крутящего момента двигателя M_{DR} (положение педали газа), давления в тормозной системе p_{Circ} , продольной составляющей скорости движения автомобиля V_x и коэффициента сцепления μ_{HF} , который можно найти посредством использования продольного ускорения α_x и поперечного ускорения. Регулирование момента двигателя осуществляет система MSR (контроллер крутящего момента).

При расчетах принимаются во внимание режимы движения, динамические характеристики автомобиля и специальные условия движения, например, уклоны, насыпи, различные коэффициенты сцепления между шинами и дорожными покрытиями левого и правого бортов автомобиля.

Отклонение угловой скорости вращения корпуса автомобиля вокруг вертикальной оси определяют на основе сравнения базисной величины (контроллер Riccati) с расчетной, которую можно получить при использовании линеаризированной модели движения автомобиля «велосипедная модель автомобиля». Выходные переменные контроллера служат оценочными критериями динамического состояния курсового движения автомобиля, а общий критерий курсового движения оценивается инерционным моментом M_{YwNo} относительно вертикальной оси.

В основе алгоритма, осуществляющего расчеты относительного скольжения S_i , результирующих сил в контакте колес F_i и угла увода α_i , лежит теория плоского движения автомобиля, причем используется «велосипедная модель автомобиля». Расчеты тормозного и тягового моментов выполняются контроллером АБС или ASR (ПБС).

Следовательно, аналитической базой алгоритма VDC фирмы «Бош» является уравнение движения автомобиля с тремя степенями свободы.

Информацию о коэффициентах относительного скольжения ведущих колес и номинальных моментах ASR и ABS получает от контроллера СРДД. Эта информация в дальнейшем используется в качестве эталонных

значений при формировании сигналов управления приводами, тормозами и двигателем.

Пороговое значение (по определению фирмы «Бош» – номинальное) разности скоростей вращения ведущих колес служит критерием формирования сигналов управления торможением ведущих колес.

Возможность модуля ASR такова, что он с соответствующей точностью производит расчеты тормозного и крутящего моментов двигателя, а регулирование осуществляется с помощью систем зажигания двигателя (задержка искры) или электронной педали подачи топлива.

Крутящий момент карданного вала является важным входным параметром контроллера, который необходим для регулирования двигателя. В СРДД фирмы «Бош» для точности определения момента на карданном валу учитываются моменты инерции двигателя, коробки передач и ведущих колес, оказывающих влияние на характер изменения скорости вращения карданного вала.

Для регулирования скорости поступательного движения автомобиля используется нелинейный контроллер PI (пропорционально интегрирующий регулятор).

Работа двигателя и «симметричное» вмешательство тормоза представляют собой контрольные переменные контроллера скорости вращения карданного вала.

Формирование сигналов управления осуществляется при обнаружении разности тормозных моментов, а в более простых системах – разности угловых скоростей вращения ведущих колес. При этом гидромодулятор является неременной составляющей исполнительного механизма системы СРДД.

Регулирование момента двигателя производится посредством одновременного воздействия на механизм регулирования и тормозной механизм. Симметричное воздействие на тормозной механизм позволяет сократить время на управление двигателем.

Датчики угловой скорости вокруг вертикальной оси, поперечного ускорения, угла поворота рулевого колеса и блок ECU (электронный блок управления системы) устанавливаются в салоне или в багажнике автомобиля. Датчики, интерфейсные средства контроля являются обязательными атрибутами современных СРДД и эффективно внедряются при относительно низкой стоимости блоков ECU (электронный блок управления). Интерфейсный контроль оказывает решающее воздействие на конструкцию датчиков и звеньев сопряжения VDC [3].

Требования к датчикам устанавливаются на основе оценочно-имитационных исследований, предусматривающих проведение экстенсивных дорожных испытаний. Исследованию подвергаются побочные влияния на работу VDC, например, влияние расположения датчиков в автомобиле. В целях обеспечения необходимой надежности комплексных систем, с точки зрения безопасности движения должны рассматриваться вопросы аналитического резервирования, т. е. применение резервных датчиков.

Датчик угла поворота рулевого колеса снабжен «местным интеллектом» и имеет свои собственные контрольные функции, которые непрерывно контролируются в ECU.

В системе предусмотрена аналитическая избыточность для использования дополнительных датчиков во время эксплуатации автомобиля. Для этого применяется модель автомобиля, позволяющая проверку имеющихся нарушений между сигналами датчиков и движением автомобиля. Такие модели также используются для вычислений и компенсирования сигналов дрейфа датчиков при условии, что они должны оставаться в пределах заданных технических требований.

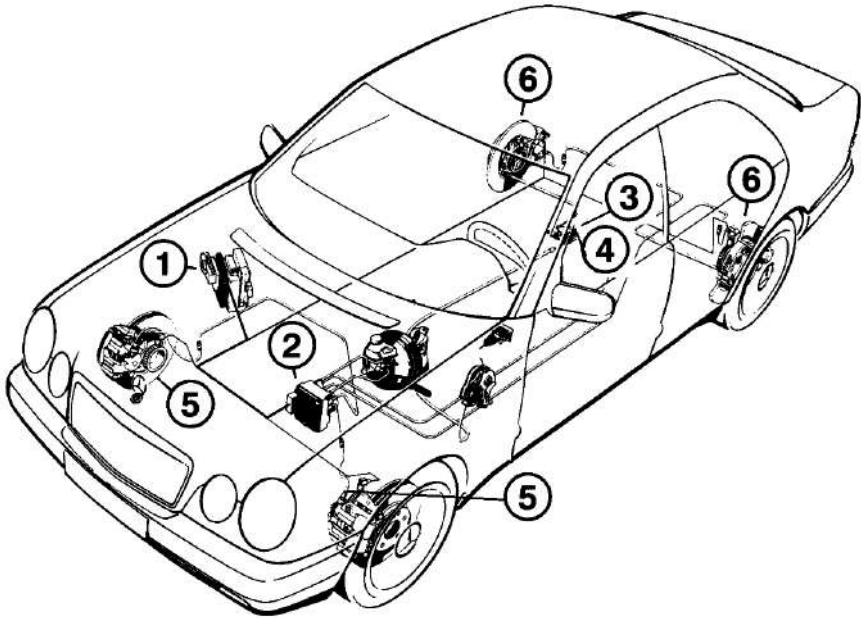
Реакция системы на ошибки зависит от того, действительно ли осуществлялось управление или просто вышли из строя элементы датчика. При обнаружении ошибки производится оценка прохождения сигнала.

На рисунке 1.18 представлена система VDC фирмы «Бош» с электрическими и механическими соединениями в автомобиле.

Идеальная СРДД автоматически распознает критические ситуации независимо от режимов движения колесной машины, осуществляет коррекцию траектории движения, т. е. ее задача сводится к распознаванию соответствия курса, заданного водителем, действительному курсу движения машины. При обнаружении ошибки СРДД должна произвести формирование сигналов управления исполнительными механизмами. Например, при избыточной управляемости осуществляется подтормаживание внешних колес. При недостаточной поворачиваемости подвергаются подтормаживанию внутренние колеса. Идеи коррекции курса автомобиля с помощью тормозов изложены в [1–3] и др.

В последние годы ведущими фирмами «ИТТ Автоматив», «Ниссан Моторс», БМВ [2] налажено производство систем ESP (электронное управление устойчивостью движения автомобиля), использующих компоненты АБС/ПБС, и систем регулирования проскальзывания колес. При прекращении воздействия на педаль акселератора вступает в работу система MSR (контроллер крутящего момента).

Электронная система стабилизации траектории ESP предотвращает занос автомобиля в критических ситуациях, если он теряет устойчивость курсового движения. Если автомобиль оснащен системой ESP, он будет реагировать на повороты рулевого колеса при объезде неожиданно возникших препятствий, резких поворотах, а также на дорогах с некачественным покрытием.



1 – ECU (VDC/ABS/ASR); 2 – гидравлическая система с датчиком давления в тормозной системе; 3 – датчик угловой скорости вокруг вертикальной оси; 4 – датчик поперечного ускорения; 5 – датчик угла поворота рулевого колеса; 6 – колесные датчики скорости вращения

Рисунок 1.18 – VDC фирмы «Бош» с электрическими и механическими соединениями в автомобиле

ESP включает следующее.

- 1 Датчик давления.
- 2 Модуль управления дроссельной заслонкой.
- 3 Панель управления силовым агрегатом.
- 4 Контрольная лампочка и выключатель системы ESP/ПБС.
- 5 Датчик угла поворота рулевого колеса.

6 Датчик угла поворота автомобиля вокруг вертикальной оси и датчик поперечного ускорения.

7 Датчик скорости вращения колес.

8 Электронная педаль акселератора (электронное управление дроссельной заслонкой).

9 Блок передачи по сети результатов обработки данных обоюдного воздействия системы ESP и панели управления силовым агрегатом.

В последние годы фирма «Мерседес», наряду с совершенствованием конструкции автомобиля, предпринимает меры по его оснащению системой ESP, которая способна самостоятельно стабилизировать автомобиль при начале скольжения колес. Первая версия системы ESP была установлена на автомобилях «Мерседес-Бенс» в 1994 г. Система производит регулирование при угрозе потери автомобилем курсовой устойчивости – когда начинают скользить колеса и траектория движения автомобиля отклоняется от той, что задает водитель поворотом руля. Для того чтобы «почувствовать» этот момент, блок управления, помимо сигналов от колесных датчиков, получает информацию о том, в какую сторону и с какой скоростью водитель вращает управляемые колеса (датчик угла поворота рулевого колеса). О поведении автомобиля процессору сообщает «вестибулярный аппарат» из двух датчиков, один из которых отслеживает уровень боковых ускорений, а другой – вращение автомобиля вокруг вертикальной оси (yaw-сенсор). Заметим, в системе ESP также наблюдается тенденция к увеличению числа датчиков, используемых в системах управления движением автомобилей.

Любая электроника, которая вмешивается в управление, иногда мешает опытному водителю. Особенно это проявляется при совершении автомобилем маневра движения «переставка». Однако совместное воздействие системы и водителя обеспечивает надежную стабилизацию курсового движения автомобиля.

ESP исправляет грубые ошибки оператора. В настоящее время такие электронные системы стабилизации автомобиля получили широкое распространение. К сожалению, ESP является все еще дорогостоящей опцией, особенно для автомобильных поездов. Однако эта система оценена эксплуатационниками по достоинству.

Система ESP (Electronic Stability Program), которой оснащаются автомобили, в качестве стандартного оборудования использует 16-битный процессор с емкостью памяти 56 Кбайт, который подключен к сети датчиков и к исполнительным устройствам. Фактически блок управления обеспечивает работу четырех систем – АБС, противобуксовочной системы

ASR, усилителя экстренного торможения BAS (Brake Assist) и собственно системы стабилизации ESP. ESP, так же как и АБС/ПБС, использует традиционные датчики измерения скорости угловых скоростей вращения колес. По сравнению с АБС/ПБС частота работы системы весьма высока – 25 Гц. Основным свойством ESP является то, что при скольжении передних колес она обеспечивает соответствующий режим работы двигателя, самостоятельно сбрасывает подачу топлива и производит подтормаживание внутреннего заднего колеса, удерживая автомобиль от заноса. Если же возникает занос задней оси, то ESP подтормаживает внешнее переднее колесо, создавая тем самым реактивный момент и стабилизируя движение автомобиля по заданному курсу. При заносе передних колес система работает с характерными признаками функционирования АБС. Система ESP обеспечивает также гашение колебаний и не дает машине перейти в неконтролируемое движение.

В ESP включена также система ПБС, которая срабатывает при проскальзывании ведущих колес в тяговом и транспортном режимах движения. При этом, помимо подтормаживания ведущих передних колес, исполнительные механизмы автоматически уменьшают подачу топлива в двигатель. Анализ современных САБ показывает, что классификационные признаки, определяемые факторами возникновения критической ситуации, и уровни (микроуровень, макроуровень), устанавливаемые характером движения АТС, вызваны исключительно использованием кинематических параметров. Например, неблагоприятные сцепные условия колес с опорной поверхностью, блокирование колеса при торможении, буксование колеса в тяговом режиме движения, условие «микст» (μ -split), нарушение контакта колес с опорной поверхностью – все это можно установить на основе анализа изменения силовых факторов в контакте колес с опорной поверхностью. Поэтому наиболее информационно насыщенным источником первичной информации САБ являются силы и моменты, фактически реализуемые колесами АТС с опорной поверхностью дороги. Причины же возникновения критических ситуаций на макроуровне также связаны с характером изменения силовых факторов. Из анализа функционирования VDC видно, что их совершенствование идет по пути наращивания информативности, т. е. используют дополнительные датчики кинематических параметров движения масс АТС.

1.7 Выводы

На основе анализа алгоритмов современных САБ АТС можно сделать следующие выводы.

1 Алгоритмы современных АБС/ПБС работают в условиях выраженного дефицита информации, что связано с используемыми источниками их первичной информации, т. е. кинематическими параметрами вращения колес и масс АТС.

2 Алгоритмы современных СРДД АТС требуют совершенствования аналитической базы их алгоритмов, связанных с расчетами коэффициентов сцеплений колес с опорной поверхностью и установлением закономерностей их изменений.