

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Белорусский национальный технический университет

---

Кафедра «Техническая эксплуатация автомобилей»

# ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЕМ

Лабораторный практикум  
для студентов специальностей 1-37 01 07 «Автосервис»  
и направления специальности 1-37 01 06-01  
«Техническая эксплуатация автомобилей  
(автотранспорт общего и личного пользования)»

в 3 частях

Часть 3

*Рекомендовано учебно-методическим объединением по образованию  
в области транспорта и транспортной деятельности  
в качестве пособия*

Минск  
БНТУ  
2021

УДК 629.33.05-52:621.38-004.3 (075.8)

ББК 39.33-04я7

И95

**С о с т а в и т е л и:**

*А. С. Гурский, Е. Л. Савич, В. С. Смольская*

**Р е ц е н з е н т ы:**

зам. генерального директора БелНИИТ «Транстехника» *Д. Н. Коваль*;  
кафедра «Технологии и организация технического сервиса»  
Белорусского государственного аграрного технического университета

**Интеллектуальные системы управления автомобилем** : пособие:  
И95 лабораторный практикум для студентов специальностей 1-37 01 07  
«Автосервис» и направления специальности 1-37 01 06-01 «Техни-  
ческая эксплуатация автомобилей (автотранспорт общего и личного  
пользования)»: в 3 ч. / сост.: А. С. Гурский, Е. Л. Савич, В. С. Смоль-  
ская. – Минск : БНТУ, 2021. – Ч. 3. – 2021. – 52 с.  
ISBN 978-985-583-626-2 (Ч. 3).

Пособие включает теоретические основы функционирования антиблокировоч-  
ной, противобуксочной систем и системы курсовой устойчивости автомобилей,  
конструктивных особенностей и алгоритмов их работы, с выполнением практических  
работ с использованием действующих моделей систем. В пособии отражено устрой-  
ство и назначение стенда НТЦ-15/13 ExtLab «Системы ABS, ASR, ESP». Пособие бу-  
дет использовано при изучении по дисциплинам «Интеллектуальные системы управ-  
ления автомобилем» и «Электронные системы управления автомобилем».

Издается с 2019 г. Часть 2 вышла в 2021 г.

УДК 629.33.05-52:621.38-004.3 (075.8)

ББК 39.33-04я7

ISBN 978-985-583-626-2 (Ч. 3)

ISBN 978-985-583-132-8

© Белорусский национальный  
технический университет, 2021

## ВВЕДЕНИЕ

Взаимодействие автомобиля с дорогой происходит в местах соприкосновения шин с дорожным покрытием, так называемых пятнах контакта шин. На практике пятна контакта имеют форму, близкую к овалу.

Через пятна контакта передаются как силы, действующие со стороны автомобиля на дорогу (например, сила тяжести), так и силы, действующие со стороны дороги на автомобиль и вызывающие его движение в том, или ином режиме, например ускорение или торможение, движение по прямой или поворот.

Проскальзывание шин определяется разницей между теоретическим и фактическим расстоянием, пройденным автомобилем. В то время как длина теоретически пройденного пути точно соответствует сумме длин окружности шины, в действительности проскальзывание приводит к тому, что фактический пройденный путь меньше (рис. 1).

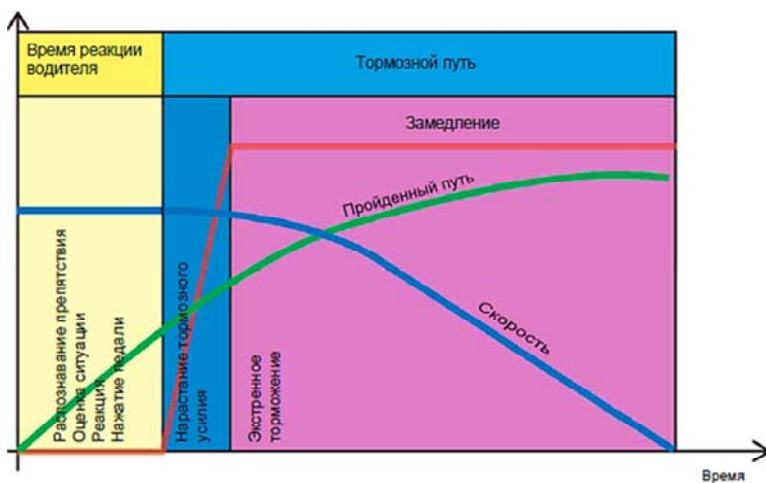


Рис. 1. Диаграмма торможения

Торможение начинается в момент распознавания препятствия. Затем следует оценка обстановки и реакция водителя, причем время реакции зависит от опыта, состояния и концентрации водителя.

За время реакции системы должны быть выбраны все зазоры в тормозной системе. Степень реакции тормозов представляет собой время от начала нарастания силы торможения до достижения определенного значения давления в тормозной системе.

Время торможения рассчитывается от момента нажатия педали тормоза. Продолжительность торможения соответствует времени от момента возникновения силы торможения до остановки автомобиля.

Если во время прямолинейного движения выполняется интенсивное торможение и сила сцепления не способна преодолеть возникшую силу торможения, то колеса блокируются, автомобиль срывается в занос и становится неуправляемым. При прямолинейном движении во время торможения автомобиля на его колесо действуют разные силы (рис. 2):

- вес автомобиля,
- тормозная сила,
- боковая сила.

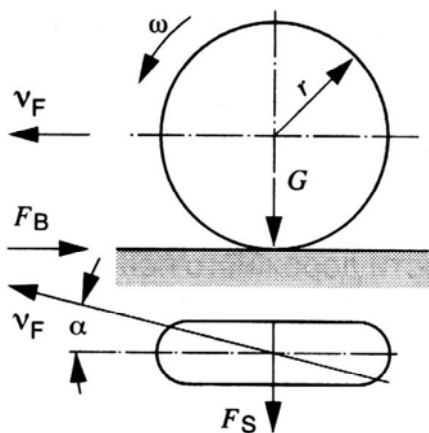


Рис. 2. Силы, действующие на колесо при торможении:  
 $G$  – вес автомобиля;  $F_B$  – тормозная сила;  $F_S$  – боковая сила;  
 $v_F$  – скорость автомобиля;  $\alpha$  – угол увода;  $\omega$  – угловая скорость

Величина сил зависит от множества факторов, таких как скорость движения автомобиля, размеры колес, состояние и конструкция шин и дорожного полотна, конструкции тормозной системы и ее технического состояния.

Во время прямолинейного движения автомобиля с постоянной скоростью разницы в скоростях вращения колес не возникает. При этом не возникает также разницы между приведенной скоростью движения автомобиля  $v_F$  и согласованной с ней усредненной скоростью  $v_R$  вращения колес, т. е.  $v_F = v_R$ . Под усредненной скоростью вращения колес понимается величина

$$v_R = \frac{v_{R1} + v_{R2} + v_{R3} + v_{R4}}{4}, \quad (1)$$

где  $v_{R1} - v_{R4}$  – скорости вращения каждого колеса в отдельности.

Как только начинается процесс интенсивного торможения, приведенная скорость автомобиля  $v_F$  начинает превышать усредненную скорость  $v_R$  вращения колес, так как кузов «обгоняет» колеса под действием силы инерции массы автомобиля, т. е.  $v_F > v_R$ . Если рассматривать процесс деформации шины в пятне контакта катящегося колеса вследствие эластичных свойств резины, то в режиме тяги упругое проскальзывание имеет отрицательные значения, а при торможении – положительное. В такой ситуации между колесами и дорогой возникает явление равномерного умеренного скольжения. Это скольжение является рабочим параметром тормозной системы и определяется как

$$\lambda = \frac{v_F - v_R}{v_F} 100 \%, \quad (2)$$

где  $v_F$  – скорость автомобиля;

$v_R$  – скорость колеса (длины окружности шины).

Коэффициент трения и коэффициент боковой силы в зависимости от проскальзывания при торможении для соответствующего угла изменения направления движения представлены на рис. 3.

Проскальзывание при торможении возникает тогда, когда колесо по сравнению со скоростью автомобиля, вращается медленнее. Коэффициент сцепления зависит от степени проскальзывания и достигает максимума примерно при  $\lambda = 20 \%$ .

Коэффициент боковой силы определяет способность колеса передавать боковые (управляющие) силы и снижается по мере увеличения проскальзывания – управляемость автомобиля снижается.

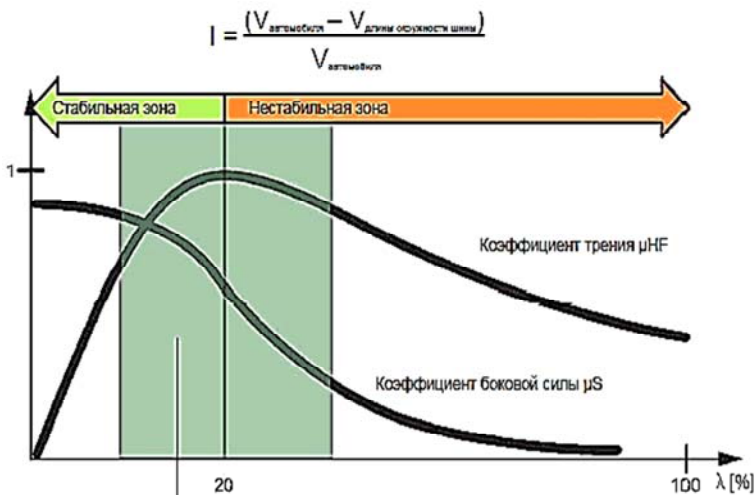


Рис. 3. Диапазон регулирования АБС

Физически рабочее скольжение в отличие от аварийного юза реализуется за счет прогибания протектора колесных шин, сдвига мелких фракций на поверхности дороги, и за счет амортизации автомобильной подвески. Эти факторы удерживают автомобиль от юза и отображают полезную суть рабочего скольжения колеса при его торможении. Ясно, что при этом замедление вращения колеса происходит постепенно и управляемо, а не мгновенно, как при блокировке.

Система АБС позволяет использовать максимальный диапазон коэффициента трения.

Величина  $\lambda$  названа **коэффициентом скольжения** и измеряется в процентах. Если  $\lambda = 0\%$ , то колеса вращаются свободно, без воздействия на них дорожного сопротивления трению. Коэффициент скольжения  $\lambda = 100\%$  соответствует юзу колеса, когда оно переходит в заблокированное состояние. При этом значительно снижаются тормозная эффективность, устойчивость и управляемость автомобиля при торможении.

При появлении эффекта рабочего скольжения, при котором имеет место нормальное качение колес, между ними и дорогой возникает равномерно возрастающее сопротивление трению, выражаемое **продольным коэффициентом сцепления**  $\mu_{HF}$ , которое является функцией от рабочего скольжения и создает силу торможения автомобиля  $F_B$ .

На рис. 4 представлена зависимость величины относительного скольжения колеса от продольного коэффициента сцепления  $\mu_{HF}$  и поперечного коэффициента сцепления  $\mu_S$  при торможении на сухом бетонном покрытии.

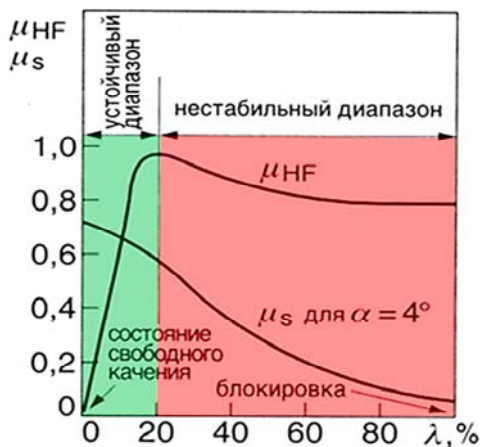


Рис. 4. Зависимость коэффициента сцепления от скольжения колес

Известно, что при некоторой скорости скольжения продольный коэффициент сцепления  $\mu_{HF}$  имеет максимум. Относительное скольжение  $\lambda$ , соответствующее этому максимуму, называется **критическим** и обозначается  $\lambda_{кр}$ . Для большинства дорожных покрытий  $\lambda_{кр} = 0,1-0,3$ . В этих пределах и поперечный коэффициент сцепления  $\mu_S$  имеет достаточно высокое значение, что обеспечивает устойчивое движение автомобиля при торможении, если на автомобиль дополнительно действует боковая сила.

При доведении тормозящих колес до юза ( $\lambda = 1$ ) значительно снижаются коэффициенты  $\mu_{HF}$  и  $\mu_S$ , а следовательно, и эффективность работы тормозов, устойчивость и управляемость автомобиля в процессе торможения. Исследования показали, что эти коэффициенты уменьшаются при увеличении начальной скорости автомобиля при торможении.

Вид кривых продольного коэффициента сцепления  $\mu_{HF}$  и поперечного коэффициента сцепления  $\mu_S$  зависит в значительной степени от типа и состояния дорожного покрытия и шин.

Важно заметить, что при малых  $\lambda$  (0–7 %) сила торможения линейно зависит от скольжения.

При экстренном торможении значительное усилие на педаль тормоза может вызвать блокировку колес. Сила сцепления шин с дорожным покрытием при этом резко ослабевает, и водитель теряет управление автомобилем.

*Система курсовой устойчивости (СКУ) (система динамической стабилизации (СДС))* предназначена для сохранения устойчивости и управляемости автомобиля за счет заблаговременного определения и устранения критической ситуации. Система позволяет удерживать автомобиль в пределах заданной водителем траектории при различных режимах движения (разгоне, торможении, движении по прямой, в поворотах и при свободном качении).

В зависимости от производителя различают следующие названия системы курсовой устойчивости (СКУ):

- ESP (Electronic Stability Programme) на большинстве автомобилей в Европе и Америке;
- ESC (Electronic Stability Control) на автомобилях Honda, Kia, Hyundai;
- DSC (Dynamic Stability Control) на автомобилях BMW, Jaguar, Rover;
- PSM (Porsche Stability Management) на автомобилях Porsche;
- DTSC (Dynamic Stability Traction Control) на автомобилях Volvo;
- VSA (Vehicle Stability Assist) на автомобилях Honda, Acura;
- VSC (Vehicle Stability Control) на автомобилях Toyota;
- VDC (Vehicle Dynamic Control) на автомобилях Infiniti, Nissan, Subaru;
- VDIM (Vehicle Dynamics Integrated Management) на автомобилях Lexus, Toyota.

Система курсовой устойчивости является системой активной безопасности высокого уровня и включает антиблокировочную систему тормозов АБС (Anti-lock braking system (ABS)), противобуксовочную систему ПБС (Antriebsschlupfregelung (ASR)), систему распределения тормозных усилий (СРТУ) (EBD), электронную блокировку дифференциала (ЭБД) (Electronisch Differentialsperre (EDS)).



## 1. АНТИБЛОКИРОВОЧНАЯ СИСТЕМА

АБС – система, предотвращающая блокировку колес транспортного средства при торможении (рис. 5). Антиблокировочные системы тормозов призваны обеспечить постоянный контроль над силой сцепления колес с дорогой и, соответственно, регулировать в каждый момент времени тормозное усилие, прилагаемое к каждому колесу. Основное предназначение системы – сохранение устойчивости и управляемости автомобиля (тормозной путь в некоторых случаях может быть больше, чем без системы АБС).

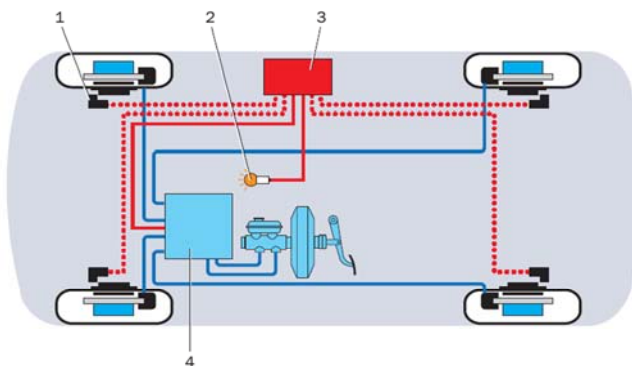


Рис. 5. Схема системы АБС:

1 – датчик; 2 – сигнальная лампа; 3 – блок управления; 4 – модулятор

Для поддержания требуемого проскальзывания (пробуксовки) колес необходимо знать значения линейной скорости автомобиля в каждый момент времени, угловую скорость тормозящего колеса, рассчитывать скольжение и управлять модуляторами, установленными в тормозном приводе. С помощью модуляторов изменяют тормозное давление, поступающее к тормозным камерам или рабочим цилиндрам, и тем самым регулируют тормозные силы на колесах.

Тормозная динамика автомобиля в большой степени зависит от схемы установки элементов АБС на автомобиле и выбранного принципа регулирования. Наиболее распространены следующие принципы регулирования скольжения колес:

– индивидуальное регулирование скольжения каждого колеса в отдельности (Individual Regelung (IR));

– «низкопороговое» регулирование, т. е. регулирование, предусматривающее подачу команд на растормаживание и затормаживание обоих колес оси одновременно по сигналу датчика колеса, находящегося в худших по сцеплению условиях – «слабого» колеса (Select Low (SL));

– «высокопороговое» регулирование колес одной оси, когда сигнал подается датчиком «сильного» колеса, т. е. находящегося в лучших по сцеплению условиях (Select High (SH));

– модифицированное индивидуальное регулирование (Modifizierte Individual Regelung (MIR)) представляет собой компромиссное регулирование между SL и IR. Смысл MIR заключается в том, что вначале регулирование осуществляется по «низкопороговому», а затем постепенно происходит переход к индивидуальному регулированию. MIR целесообразно использовать при торможении на опорной поверхности с различным сцеплением под левым и правым колесами, а также на повороте и поперечном уклоне.

АБС производит перераспределение давления в ветвях гидропривода колесных тормозов так, чтобы не допустить блокирования колес и вместе с тем достичь максимальной силы торможения без потери управляемости автомобиля.

*Основной задачей АБС* является поддержание в процессе торможения относительного скольжения колес в узких пределах вблизи  $\lambda_{кр}$ . В этом случае обеспечиваются оптимальные характеристики торможения. Для этой цели необходимо автоматически регулировать в процессе торможения подводимый к колесам тормозной момент.

Система включает следующие элементы:

– датчики информации об угловой скорости колеса, давлении рабочей среды, замедлении автомобиля и др.;

– блок управления, в который поступает информация от датчиков и который после ее обработки выдает команды на исполнительные механизмы;

– исполнительные механизмы (модуляторы давления), которые в соответствии с поступившей командой изменяют давление рабочей среды в приводе тормозов.

На рис. 6 представлена схема расположения данных элементов.

При практической реализации АБС принят **циклический режим ее работы** – за нарастанием давления рабочей среды в тормозном устройстве следует сброс давления, а затем снова нарастание и т. д.

Это связано, в основном, с инерционностью входящих в нее механических устройств. Качество регулирования оценивается по тому, насколько эффективно АБС обеспечивает замедление вращения тормозящего колеса.

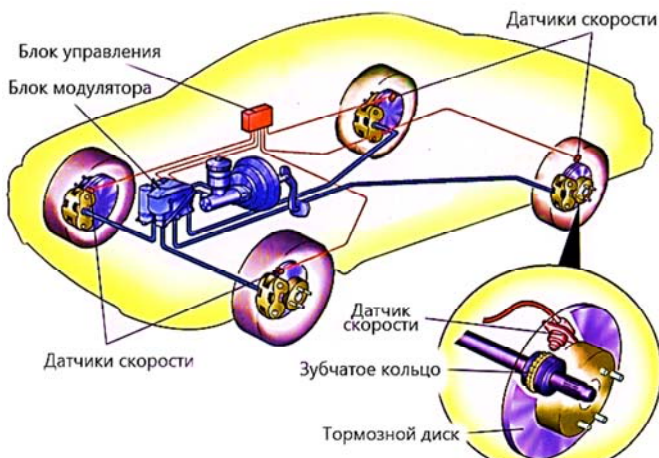


Рис. 6. Система АБС

При большой амплитуде циклических колебаний давления комфорт в процессе торможения снижается (автомобиль «дергается») и к тому же элементы автомобиля испытывают значительные дополнительные инерционные нагрузки.

Важным свойством АБС является свойство приспосабливаться к изменению условий торможения, в первую очередь, – к изменению коэффициента сцепления.

Среди большого количества разработанных алгоритмов функционирования АБС наиболее широкое применение получил алгоритм, в котором критерием работы системы является изменение угловой скорости вращения тормозящего колеса  $\varepsilon_{Т.К.}$ :

$$\varepsilon_{Т.К.} = \frac{d\omega_{Т.К.}}{dt}, \quad (3)$$

где  $\omega_{Т.К.}$  – угловая скорость вращения тормозящего колеса;  
 $t$  – время торможения.

Процесс работы АБС реализуется в двух- или трехфазном цикле.

При двухфазном цикле чередуются нарастание и сброс давления, при трехфазном (рис. 7) – нарастание, сброс давления, поддержание давления на постоянном уровне.

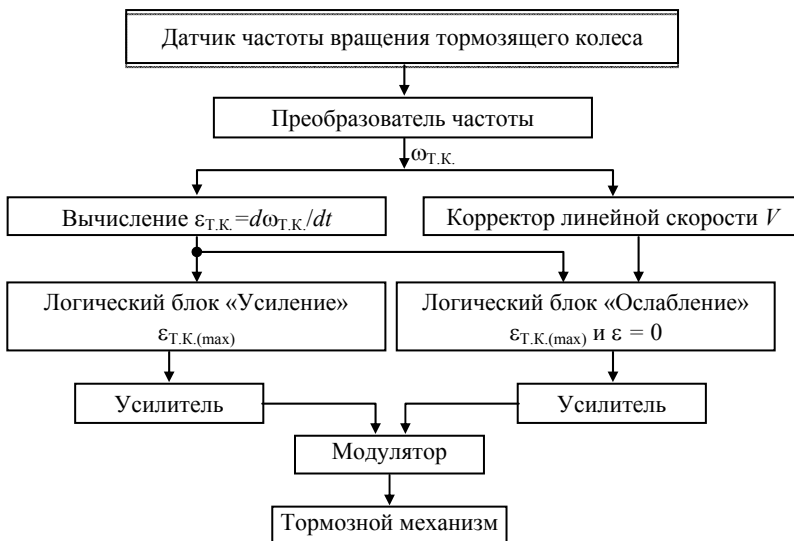


Рис. 7. Блок-схема управления АБС с трехфазным циклом

Достоинством трехфазного цикла считается меньший расход рабочей среды и, соответственно, более высокая экономичность при использовании пневмопривода тормозов. Однако, в этом случае модулятор получается гораздо сложнее, чем для реализации двухфазного цикла.

#### **Задачи, выполняемые АБС:**

- обеспечение безопасного торможения;
- сокращение тормозного пути на наиболее опасных покрытиях: скользком или мокром;
- сохранение управляемости при резком торможении.

Динамика торможения автомобиля с АБС зависит от схемы установки элементов этой системы. С точки зрения максимальной эффективности, наилучшей является схема с автономным регулированием торможения каждого колеса. Для этого на каждом колесе

устанавливается датчик угловой скорости, а в приводе тормоза этого колеса – модулятор давления и блок управления.

**Низкопороговое регулирование** предусматривает управление, основанное на условиях, в которых находится тормозящее колесо, имеющее худшее сцепление с поверхностью дороги («слабое» колесо). В этом случае возможности торможения «сильного» колеса недоиспользуются, но создается равенство тормозных усилий на обоих колесах. Это способствует сохранению курсовой устойчивости при торможении автомобиля при некотором снижении общей эффективности торможения.

**Высокопороговое управление**, основанное на условиях, в которых находится тормозящее колесо, имеющее лучшее сцепление с поверхностью дороги («сильное» колесо), дает более высокую тормозную эффективность, хотя устойчивость при этом несколько снижается, т. к. «слабое» колесо в такой системе циклически блокируется.

На рис. 8 показана упрощенная схема двухконтурного пневмопривода тормозов с АБС, регулирующей только торможение задних колес.

Для этого установлен один модулятор 8, один блок управления 6 и два датчика угловой скорости колес 7. В схему включен также дополнительный ресивер 4, необходимость которого связана с увеличенным расходом воздуха во время работы АБС из-за многократного впуска и выпуска воздуха. Модулятор 8 в данной схеме работает по трехфазному циклу.

**Первая фаза** – нарастание давления. При нажатии водителя на педаль тормоза тормозной кран 1 соединяет основной ресивер 5 с каналом 13 модулятора. В это время обмотки электромагнитов 18 отключены от источника тока, в связи с чем клапан 14 под действием своей пружины находится в открытом состоянии, а клапан 16 – в закрытом. Сжатый воздух поступает через клапан 14 в полость 19 и перемещает поршень 12 вниз. Перемещаясь вниз, поршень 12 запирает клапан 11 и одновременно открывает клапан 9, в связи с чем сжатый воздух из дополнительного ресивера 4 через каналы 17 и 10 поступает в тормозные камеры 20, тормозное усилие нарастает.

**Вторая фаза** – сброс давления. Блок управления дает команду на прекращение торможения, сообщая электромагниты 18 с источником тока, и оба клапана 14 и 16 опускаются. При этом клапан 14 отсекает основной ресивер 5 от модулятора, а клапан 16 открывает выход сжатого воздуха из полости 19 в атмосферу. В результате

этого давление в полости 19 уменьшается, поршень 12 под действием своей пружины поднимается, открывает клапан сброса в атмосферу 11 и давление воздуха в тормозной камере 20 падает, т. к. поднятие поршня 12 сопровождается отсечкой клапаном 9 сжатого воздуха, поступающего в модулятор через канал 17. Тормозное усилие уменьшается.

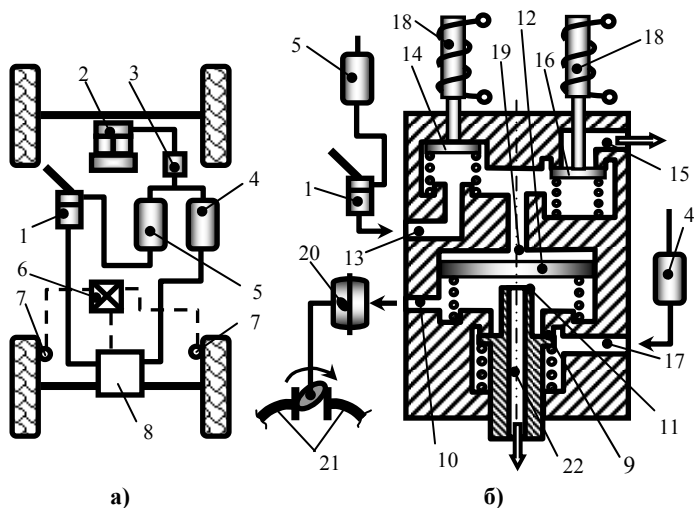


Рис. 8. Схема двухконтурного тормозного пневмопривода с АБС:

*а* — общая схема; *б* — модулятор давления;

1 — тормозной кран; 2 — компрессор; 3 — регулятор давления;

4 — дополнительный ресивер; 5 — основной ресивер; 6 — блок управления;

7 — датчики угловой скорости; 8 — модулятор давления;

9 — клапан сжатого воздуха; 10 — канал подвода давления пневмоцилиндру;

11 — клапан сброса в атмосферу; 12 — поршень; 13 — канал подвода

основного потока; 14, 16 — клапаны; 15, 22 — каналы сброса в атмосферу;

17 — канал подвода давления; 18 — электромагниты; 19 — полость регулятора;

20 — тормозная камера; 21 — тормозные колодки

**Третья фаза** — поддержание постоянного давления на одном уровне. Блок управления *б* подает ток только к электромагниту 18, управляющему клапаном 14. Теперь оба клапана (14 и 16) становятся закрытыми, что позволяет поддерживать постоянным давление воздуха в полости 19 и в тормозных камерах 20. Тормозное усилие становится постоянным.

Описанная система относится к классу *открытых АБС*, т. к. в ней происходит постоянный обмен рабочим телом (воздухом) между системой и окружающей средой.

В *закрытых системах* с гидроприводом обмена рабочим телом с окружающей средой быть не может, хотя принцип действия закрытых АБС остается прежним. В этих АБС в качестве источника давления используются жидкостные насосы. Система также снабжается пневматическими гидроаккумуляторами, что позволяет увеличивать расход тормозной жидкости во время работы АБС.

Работа системы происходит по программе, подразделяющейся на три фазы (рис. 9):

- I – нормальное или обычное торможение;
- II – удержание давления на постоянном уровне;
- III – сброс давления.

#### ***Фаза нормального торможения***

При обычном торможении напряжение на электромагнитных клапанах отсутствует, из главного цилиндра тормозная жидкость под давлением свободно проходит через открытые электромагнитные клапаны и приводит в действие тормозные механизмы колес. Гидронасос не работает.

#### ***Фаза удержания давления на постоянном уровне***

При появлении признаков блокировки одного из колес БУ, получив соответствующий сигнал от колесного датчика, переходит к выполнению программы цикла удержания давления на постоянном уровне путем разъединения главного и соответствующего колесного цилиндров. На обмотку электромагнитного клапана подается ток силой 2 А. Поршень клапана перемещается и перекрывает поступление тормозной жидкости из главного цилиндра. Давление в рабочем цилиндре колеса остается неизменным, даже если водитель продолжает нажимать на педаль тормоза.

#### ***Фаза сброса давления***

Если опасность блокировки колеса сохраняется, БУ подает на обмотку электромагнитного клапана ток большей силы – 5 А. В результате дополнительного перемещения поршня клапана открывается канал, через который тормозная жидкость сбрасывается в аккумулятор давления жидкости. Давление в колесном цилиндре падает. БУ выдает команду на включение гидронасоса, который отводит часть жидкости из аккумулятора давления. Педаль тормоза приподнимается, что ощущается по биению тормозной педали.

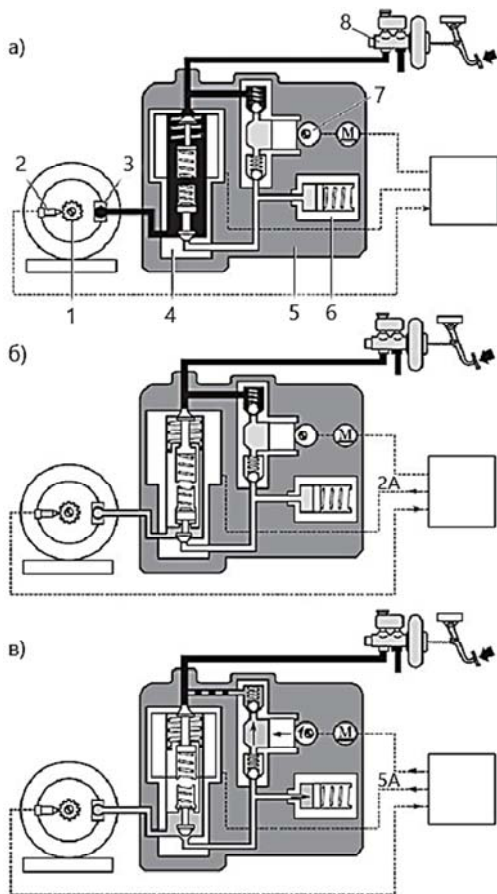


Рис. 9. Фазы торможения:

- a* – фаза нормального торможения; *б* – фаза удержания давления на постоянном уровне; *в* – фаза сброса давления;
- 1 – ротор колесного датчика; 2 – колесный датчик;
- 3 – колесный (рабочий) цилиндр; 4 – электрогидравлический модулятор;
- 5 – электромагнитный клапан; 6 – аккумулятор давления;
- 7 – нагнетательный насос; 8 – главный тормозной цилиндр;
- 9 – блок управления

Как правило, на щитке приборов должна находиться контрольная лампочка, которая должна гаснуть при работающем двигателе или если скорость автомобиля превышает 5 км/час. Она также заго-



рается, если одно из колес пробуксовывает более 20 секунд или если электроснабжение выдает напряжение менее 10 вольт. Контрольная лампочка системы предупреждает водителя о том, что из-за неисправности системы произошло ее автоматическое отключение, при этом тормозная система продолжает функционировать как обычная тормозная система без АБС.

В зависимости от конструкции в АБС применяются различные датчики, дающие первичную информацию о скорости или ускорении автомобиля, давлении в приводе тормозов. Впоследствии эта информация преобразуется в удобную для анализа форму и используется для принятия решения и выдачи сигналов в блоке управления АБС. По конструкции датчики могут быть электрическими, механическими, электромагнитными, гидравлическими, пневматическими и др.

Для расчета угловой скорости вращения колеса могут использоваться 2 типа устройства датчиков АБС:

- на основе индуктивного элемента. Еще их называют *пассивными*, так как чувствительный элемент не нуждается во внешнем питании, а сам принцип работы основывается на эффекте электромагнитной индукции. Несмотря на простоту конструкции и надежность, на современных автомобилях такие устройства встречаются все реже. Главный недостаток конструкции – на низкой скорости движения авто невозможно адекватно рассчитать скорость вращения колес;
- на основе эффекта Холла. Их еще называют *активными*, так как чувствительный элемент нуждается в питании – опорном напряжении. Вырабатываемый такими датчиками скорости сигнал позволяет ЭБУ точнее рассчитать скорость вращения колес.

Благодаря принципу действия электромагнитной индукции, прохождение вблизи железного сердечника зубьев гребенки, установленной на корпусе ШРУСа, провоцирует скачки напряжения. Благодаря вращению колеса, на выводах датчика фиксируется синусоидальное колебание напряжения; частота переменного напряжения прямопропорциональна угловой скорости вращения колеса.

Блок управления антиблокировочной системой тормозов регистрирует и сравнивает аналоговые сигналы со всех чувствительных элементов, что позволяет рассчитать разницу угловых скоростей вращения колес.

## 2. ПРОТИВОБУКСОВОЧНАЯ СИСТЕМА

ПБС помогает водителю избежать пробуксовывания колес при трогании с места и ускорении. При плохих погодных условиях и, прежде всего, на автомобилях с мощными двигателями, вследствие сочетания низкого коэффициента трения между шиной и дорогой с высокими тяговыми усилиями, возможно значительное проскальзывание колес. В крайних случаях колеса могут какое-то время даже пробуксовывать (проворачиваться на месте). В результате не только уменьшается создаваемое тяговое усилие, но и ухудшается управляемость автомобиля. Это может приводить к критическим с точки зрения курсовой устойчивости ситуациям, прежде всего, при прохождении поворотов с ускорением. ПБС эффективно предотвращает недопустимо высокие значения проскальзывания колес.

Для ПБС не требуется установка дополнительного по отношению к АБС с ЭБД оборудования. Реализация ее функций осуществляется только программно, необходимое ПО, как и с системой ЭБД, работает в блоке управления АБС.

Обмен данными между ПБС и системой управления двигателя на всех выпускающихся в настоящее время происходит по шине данных.

ПБС при слишком больших значениях проскальзывания отправляет в двигатель «указание» уменьшить крутящий момент. За счет этого уменьшаются тяговые силы, передаваемые в пятнах контакта шин. Это уменьшает величину проскальзывания и позволяет шинам воспринимать при необходимости боковые направляющие усилия. Благодаря этому автомобиль сохраняет управляемость и курсовую устойчивость.

На некоторых моделях противобуксовочную функцию можно отключить с помощью клавиши ПБС. При каждом включении зажигания функция ПБС активируется.

Главными параметрами, по которым система ПБС оценивает необходимость и величину вмешательства, являются частоты вращения колес и действительный крутящий момент двигателя автомобиля («фактический крутящий момент»). На основании частот вращения всех колес система оценивает величину проскальзывания ведущих колес (рис. 10). Когда это значение на одном из колес превышает установленный предел, система ПБС активируется и вычисляет, насколько нужно снизить крутящий момент двигателя, чтобы проскальзывание колеса снова уменьшилось до не критического значения.

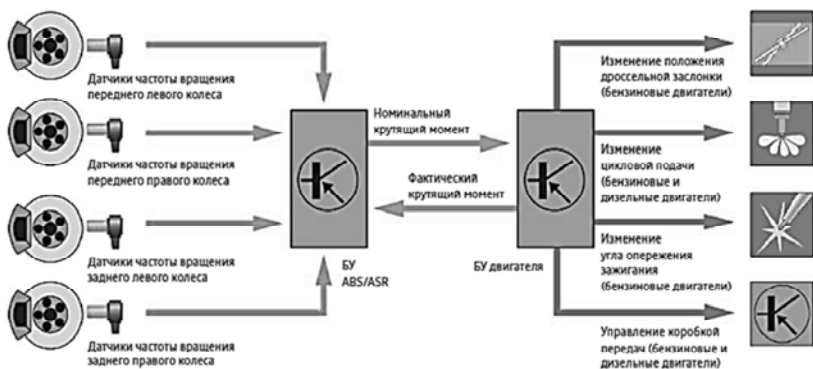


Рис. 10. Схема работы противобуксовочной системы

Блок управления двигателем получает «указание», соответственно, снизить крутящий момент в виде сообщения, с указанием требуемого крутящего момента («номинального крутящего момента»).

Одновременно с этим на автомобилях с АКП или АМКП (автоматизированной механической КП) блок управления коробки передач получает указание не выполнять во время срабатывания противобуксовочной системы ПБС переключения передач.

Блок управления двигателем может уменьшать мощность двигателя за счет ряда управляющих параметров:

- изменение угла открытия дроссельной заслонки;
- уменьшение цикловой подачи топлива или пропуск отдельных впрыскиваний;
- изменение угла опережения зажигания (в сторону «поздно») или отмена отдельных зажигания.

Какие именно меры используются, зависит от конкретного применения (модель автомобиля, мощность двигателя и т. п.).

Функции противобуксовочной системы (ПБС) и электронной блокировки дифференциала (ЭБД) дополняют друг друга. Обе системы имеют целью улучшение использования потенциала сцепления колес с дорожным полотном для создания тяговых усилий. ПБС использует уменьшение крутящего момента двигателя и поэтому действует в равной мере на оба колеса ведущей оси. Когда оба ведущих колеса находятся на одинаково скользкой поверхности, ПБС ограничивает крутящий момент.

Однако возможны и ситуации, когда ведущие колеса опираются на разные поверхности с совершенно разным сцеплением (рис. 11).

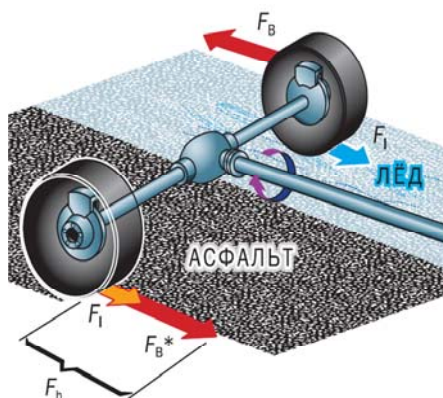


Рис. 11. Принцип действия ПБС:

$F_I$  – тяговая сила (без ПБС);  $F_B$  – тормозная сила;  
 $F_B^*$  – дополнительная тяговая сила;  $F_h$  – суммарная сила тяги

Если колесо, находящееся на более скользкой поверхности, будет демонстрировать значительно большее проскальзывание, то электронная блокировка дифференциала ЭБД будет подтормаживать проскальзывающее колесо.

Если затем проскальзывание станет слишком большим и примерно одинаковым на обоих ведущих колесах, ПБС уменьшит крутящий момент двигателя. К преимуществам ПБС относят:

- увеличение силы тяги и повышение устойчивости автомобиля при трогании с места, разгоне и движении на скользкой дороге;
- увеличение проходимости по мягким грунтам;
- уменьшение нагрузок в трансмиссии при резком изменении коэффициента сцепления;
- снижение расхода топлива, особенно в зимних условиях;
- уменьшение износа шин;
- снижение утомляемости водителя.

В связи с постоянным увеличением мощности двигателей при одновременном снижении массы автомобилей, за счет применения в их конструкции новых композиционных материалов, происходит рост динамики движения, в том числе и при старте автомобиля

с места, когда возможно пробуксовывание ведущих колес, особенно на скользких участках дороги. Поэтому все большее применение получают противобуксовочные системы (ПБС) или Automatic Slip Regulation (ASR), которые работают аналогично антиблокировочным системам, только не в режиме торможения ведущих колес, а в тяговом режиме. Схема комплексной АБС/ПБС показана на рис. 12.

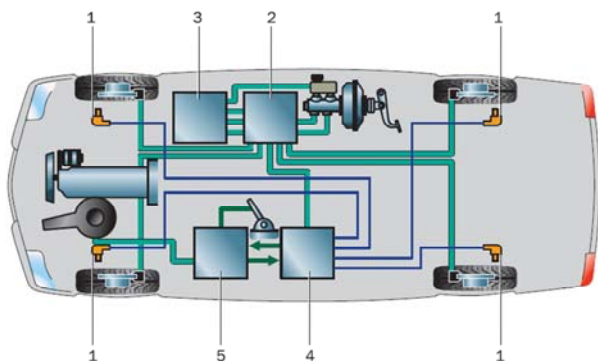


Рис. 12. Схема комплексной АБС/ПБС легкового автомобиля:  
 1 – датчик скорости колеса; 2 – модулятор АБС; 3 – модулятор ПБС;  
 4 – блок управления АБС; 5 – блок управления АПС

ПБС не допускает буксования одного, двух или всех ведущих колес при трогании автомобиля или при движении по дороге с низким коэффициентом сцепления. Благодаря этому повышаются тягово-динамические свойства и устойчивость автомобиля. Обычно ПБС устанавливают совместно с АБС и при этом используют ряд их элементов (датчики, блок управления и др.).

В настоящее время разработаны и реализуются самые разнообразные конструкции ПБС. В частности, фирма «Bosch» предлагает следующие три варианта.

**Первый вариант.** ПБС работает за счет регулирования тягового усилия путем воздействия только на двигатель. Гидравлическая система комплексной АБС/ПБС остается такой же, как у АБС, а блок управления дополнен электронными средствами ПБС.

Крутящий момент двигателя регулируется одновременным воздействием на дроссельную заслонку системы зажигания и впрыска топлива.

Положение дроссельной заслонки может изменяться электромеханическим или электромагнитным устройством. Чаще всего используется электромеханическая система, известная под названием «электронная педаль акселератора». В ней изменение положения педали акселератора преобразуется датчиком перемещения в электрический сигнал, который передается в блок управления. Там этот сигнал преобразуется и обрабатывается с учетом заданных параметров совместно с сигналами от других датчиков (температуры, частоты вращения двигателя и др.), а затем передается в электродвигатель, который перемещает дроссельную заслонку или рейку топливного насоса (в случае управления дизелем). Сигнал обратной связи о положении дроссельной заслонки или рейки также поступает в блок управления.

Команда электронных средств ПБС имеет приоритет перед сигналами, поступающими от датчика перемещения педали управления подачей топлива. Например, если по команде водителя дроссельная заслонка открыта на угол, обеспечивающий подачу к ведущим колесам крутящего момента большего, чем можно реализовать по условиям сцепления, то по команде электронных средств ПБС угол открытия заслонки может быть уменьшен со скоростью до  $10^\circ$  за 100 мс.

Регулирование крутящего момента двигателя изменением положения дроссельной заслонки обеспечивает плавный разгон и движение без пробуксовки ведущих колес, равномерную нагрузку на двигатель и постоянство состава отработанных газов, однако имеет относительно большую инерционность, что нежелательно для ПБС.

С целью компенсации этого недостатка дополнительно осуществляется воздействие на систему зажигания – угол опережения зажигания уменьшается прямо пропорционально интенсивности пробуксовки ведущих колес. Если и это не приводит к желаемому результату (ведущие колеса продолжают пробуксовывать), то система ПБС кратковременно полностью отключает подачу высокого напряжения на свечи.

При восстановлении подачи напряжения на свечи угол опережения момента зажигания плавно восстанавливается до оптимального, что обеспечивает постепенное нарастание крутящего момента двигателя. После того, как буксирование ведущих колес прекращается, электронные средства ПБС дают команду на увеличение угла открытия дроссельной заслонки.

Для предотвращения недопустимой токсичности отработанных газов и перегрузки каталитических нейтрализаторов системы выхлопа во время отключения зажигания прекращается и впрыск топлива.

**Второй вариант.** В его основу положено одновременное воздействие на тяговую силу двигателя и тормозную систему. Так же как и в первом варианте, электронные средства ПБС объединены с АБС.

Крутящий момент двигателя регулируется только воздействием на дроссельную заслонку посредством уже описанной системы «электронная педаль акселератора». Воздействие ПБС на тормозную систему заключается в создании эффекта дифференциала повышенного трения путем строго дозированного торможения забегающего вперед колеса, катящегося по поверхности с меньшим коэффициентом сцепления.

Электронные средства ПБС, определив существующее в данный момент состояние на основе показаний датчиков, дают одновременно команды на уменьшение угла открытия заслонки и повышение давления в соответствующем колесном тормозном цилиндре пропорционально степени пробуксовывания. Положение дроссельной заслонки в процессе регулирования постепенно восстанавливается в соответствии с пилообразной функцией (рис. 13), а давление в тормозном цилиндре уменьшается, что в целом обеспечивает оптимальное буксование колеса.

Такой режим регулирования сохраняется до тех пор, пока буксование колеса не прекратится либо второе колесо не начнет пробуксовывать. В последнем случае блок управления подает команду на повторное уменьшение угла открытия дроссельной заслонки и торможение второго колеса. Торможение обоими колесами допускается лишь на короткое время во избежание перегрева тормозов.

По заявлению фирмы «BOSCH» второй вариант обеспечивает значительное улучшение тяговых свойств автомобиля по сравнению с первым, а также повышение устойчивости и управляемости на покрытиях с малым коэффициентом сцепления.

**Третий вариант.** ПБС совместно с АБС осуществляет перераспределение крутящего момента между колесами одной оси, применяя принцип использования дифференциала повышенного трения с регулируемым коэффициентом блокировки. В этом варианте системы гидравлическая часть АБС дополняется гидравлическим контуром для дифференциала и модулятором давления.

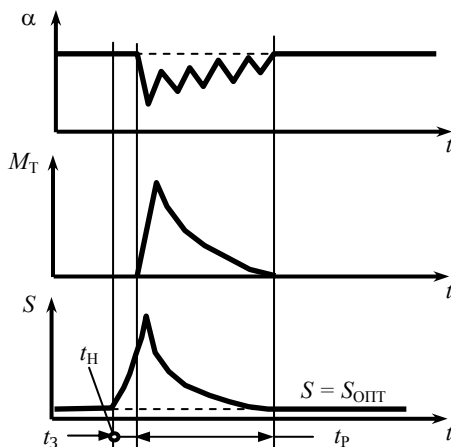


Рис. 13. Схема совместной работы ПБС и АБС по второму варианту:

- $\alpha$  – угол открытия дроссельной заслонки;
- $M_T$  – момент торможения на ведущем буксующем колесе;
- $S$  – относительное скольжение ведущего буксующего колеса;
- $t$  – время;  $t_H$  – момент начала буксования;
- $t_3$  – время задержки из-за инерционности системы;
- $t_p$  – время активной работы ПБС/АБС

Требуемый эффект блокировки достигается изменением давления жидкости на дополнительно установленный в дифференциале пакет фрикционных дисков. Этим пакетом обеспечивается необходимый момент трения между шестернями полуосей и корпусом дифференциала. При этом момент трения изменяется от минимального значения до максимального, приводящего к блокированию нужного колеса.

Данный вариант ПБС повышает тяговые свойства автомобиля и его проходимость, особенно при движении по дороге с переменным коэффициентом сцепления колеса и дорожного покрытия, в том числе при повороте автомобиля, который можно осуществлять как без «притормаживания», так и при использовании тормозов. Последнее происходит без блокирования колес между собой.

Возможно объединение третьего и первого вариантов. Так, например, имеются конструкции ПБС, которые автоматически снижают мощность двигателя на скользких участках дороги путем временно-го отключения части цилиндров двигателя.



### 3. СИСТЕМА КУРСОВОЙ УСТОЙЧИВОСТИ

Система курсовой устойчивости (СКУ) имеет много общего с антиблокировочной и антипробуксовочной системами. Отличия системы АПС и СКУ показаны на рис. 14.

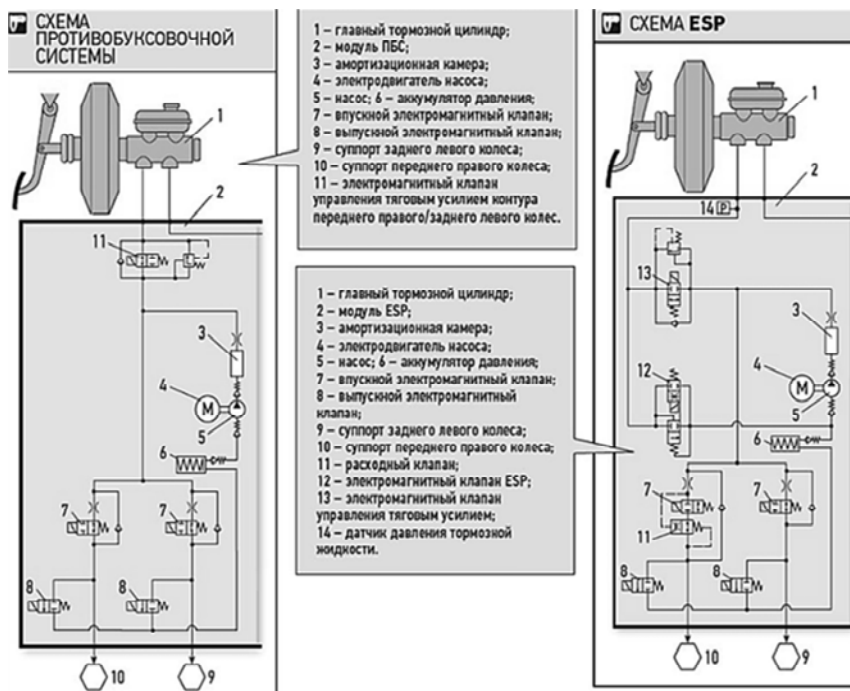
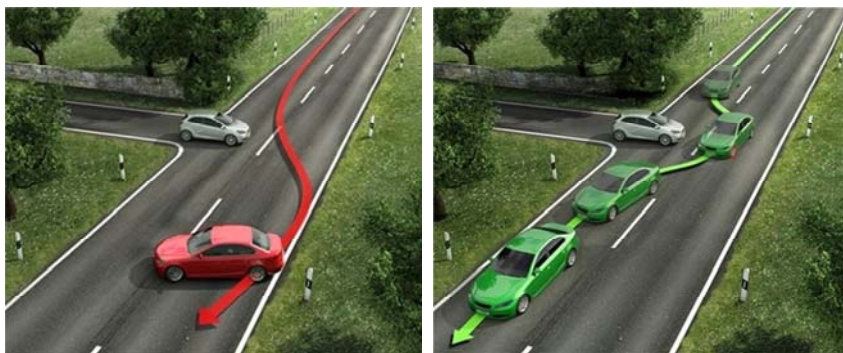


Рис. 14. Отличия системы АПС и СКУ

**Основная задача** данной системы – контроль поперечной динамики машины, а в нужный момент, сохранение траектории движения и курсовой устойчивости, а также стабилизация положения авто во время выполнения им маневров. Именно поэтому ее часто называют «системой поддержания курсовой устойчивости» или «противозаносной».

Для сравнения траектории движения при экстренном объезде препятствия без применения и с применением системы курсовой устойчивости приведены на рис. 15.



Траектория автомобиля без СКУ

Траектория автомобиля с СКУ

Рис. 15. Действие системы СКУ

Система курсовой устойчивости объединяет входные датчики, блок управления и гидравлический блок в качестве исполнительного устройства (рис. 16).

В своей работе блок управления СКУ взаимодействует с системой управления двигателем и автоматической коробкой передач (через соответствующие блоки). Блок-контроллер СКУ обрабатывает все сигналы и различные датчики (положения руля, давления в тормозной системе и скорости вращения колес и другие). Схема действий и сигналов для реализации работы СКУ представлена на рис. 17.

Основными и наиболее важными являются два основных датчика – это датчик поперечного ускорения, называемый еще  $G$ -сенсор, и датчик угловой скорости от вертикальной оси. Именно они улавливают возникновение бокового скольжения, оценивают его и передают дальнейшие указания. Блок-контроллер оценивает эти сигналы, сравнивая их с заложенными в программе. С помощью датчиков СКУ получает информацию о скорости автомобиля, угле поворота руля, количестве оборотов двигателя в секунду, есть ли боковое скольжение и другие характеристики движения (рис. 18). Если движение автомобиля начинает отличаться от рассчитанного в программе, то данный блок понимает это как риск возникновения аварийной ситуации и предпринимает действия по ее недопущению. Все эти компоненты в комплексе составляют единую систему контраварийных мероприятий.

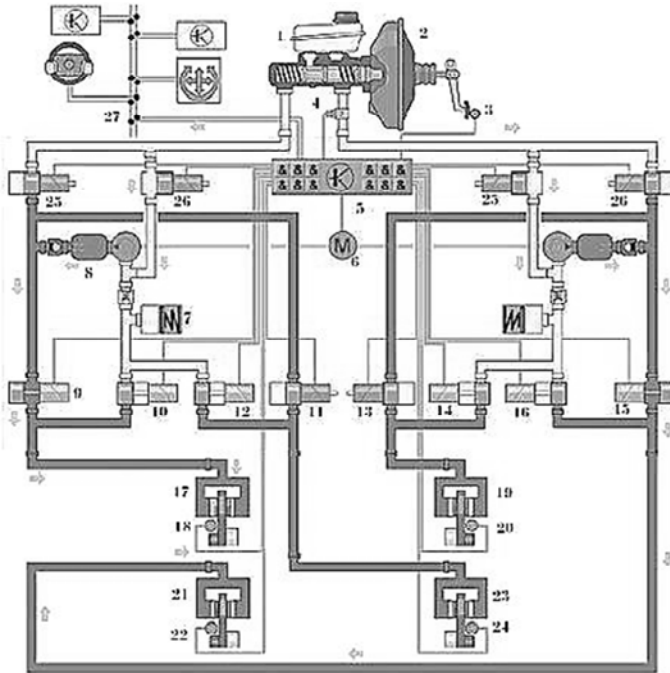


Рис. 16. Схема системы курсовой устойчивости СКУ:

- 1 – компенсационный бачок; 2 – вакуумный усилитель тормозов;  
 3 – датчик положения педали тормоза; 4 – датчик давления в тормозной системе;  
 5 – блок управления; 6 – насос обратной подачи;  
 7 – аккумулятор давления; 8 – демпфирующая камера;  
 9 – впускной клапан переднего левого тормозного механизма;  
 10 – выпускной клапан привода переднего левого тормозного механизма;  
 11 – впускной клапан привода заднего правого тормозного механизма;  
 12 – выпускной клапан привода заднего правого тормозного механизма;  
 13 – впускной клапан привода переднего правого тормозного механизма;  
 14 – выпускной клапан привода переднего правого тормозного механизма;  
 15 – впускной клапан привода заднего левого тормозного механизма;  
 16 – выпускной клапан привода заднего левого тормозного механизма;  
 17 – передний левый тормозной цилиндр; 18 – датчик частоты вращения переднего левого колеса; 19 – передний правый тормозной цилиндр;  
 20 – датчик частоты вращения переднего правого колеса;  
 21 – задний левый тормозной цилиндр; 22 – датчик частоты вращения заднего левого колеса; 23 – задний правый тормозной цилиндр;  
 24 – датчик частоты вращения заднего правого колеса;  
 25 – переключающий клапан; 26 – клапан высокого давления;  
 27 – шина обмена данными

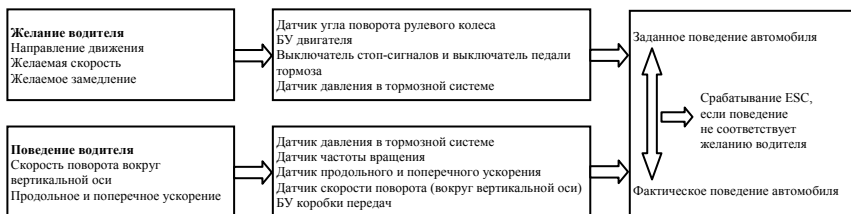


Рис. 17. Схема действий и сигналов для реализации работы СКУ

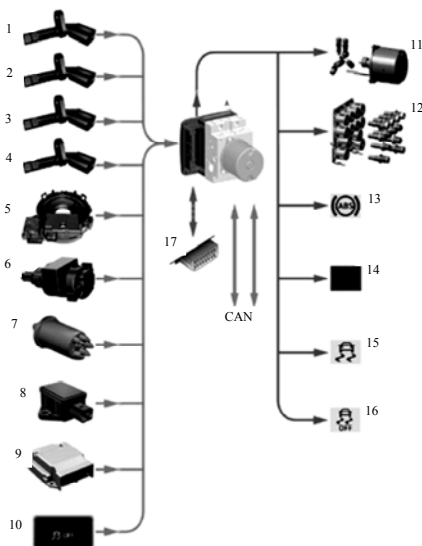


Рис. 18. Компоненты СКУ:

- 1 – датчик частоты вращения колеса (задний правый);
- 2 – датчик частоты вращения колеса (передний правый);
- 3 – датчик частоты вращения колеса (задний левый); 4 – датчик частоты вращения колеса (передний левый); 5 – датчик угла поворота рулевого колеса;
- 6 – выключатель стоп-сигналов/выключатель педали тормоза;
- 7 – датчик давления в тормозной системе;
- 8 – блок датчиков СКУ, в который входят датчик поперечного ускорения, датчик скорости поворота, датчик продольного ускорения;
- 9 – блок управления датчиков системы регулирования динамики движения;
- 10 – клавиша отключения ПБС и ESC; 11 – гидравлический блок с насосом обратной подачи и переключающими клапанами;
- 12 – электромагнитные клапаны; 13 – контрольная лампа АБС;
- 14 – контрольная лампа тормозной системы; 15 – контрольная лампа ESC и ПБС;
- 16 – контрольная лампа 2 ESC и ПБС; 17 – диагностический разъем;
- А – блок управления АБС/ESC

Данные действия заключаются в выборочном подтормаживании колес, которое осуществляется через гидромодулятор АБС, который создает давление в тормозной системе автомобиля. Одновременно с этим или немного заблаговременно, подается сигнал на блок управления двигателем, идет сокращение подачи топлива, а следовательно, уменьшается крутящий момент на колесах.

В гидравлическом блоке объединены все гидравлические компоненты, требующиеся для реализации функций увеличения давления, поддержания давления и уменьшения давления. Это, прежде всего, электромагнитные клапаны, а также насос обратной подачи с его электрическим приводом.

Помимо этого, в гидравлическом блоке имеются аккумуляторы давления, различные внутренние каналы и обратные клапаны. Для регистрации фактического тормозного давления внутри блока устанавливается как минимум один (больше – в зависимости от комплектации) датчик давления в тормозной системе.

### *Датчики*

Чтобы осуществлять эти исключительно сложные регулирующие процессы, одним только сигналом частоты вращения колес недостаточно. Также очень важно иметь информацию об ускорениях, испытываемых автомобилем (динамика движения), а также об угле поворота рулевого колеса.

Все движения (ускорения) автомобиля регистрируются специальными датчиками поперечного ускорения, продольного ускорения и поворота вокруг вертикальной оси. Угол поворота рулевого колеса отражает желание водителя (желаемое направление движения автомобиля).

В современных моделях, оснащаемых шиной данных FlexRay (Audi A6, Audi A7 и Audi A8), динамические параметры автомобиля регистрируются блоком управления датчиков системы регулирования динамики движения. Этот блок управления может устанавливаться в различных исполнениях, в зависимости от комплектации автомобиля. В максимальной комплектации в его состав входят датчики продольных, поперечных и вертикальных ускорений, а также скорости поворота автомобиля относительно всех трех пространственных осей ( $x$ ,  $y$  и  $z$ ). Для работы функции СКУ требуются

сигналы поперечного и продольного ускорения, а также скорости поворота вокруг вертикальной оси.



Рис. 19. Параметры, регистрируемые датчиками системы СКУ

После обработки сигналов датчиков блок управления выдает управляющие импульсы на исполнительные устройства подконтрольных систем активной безопасности:

- впускные и выпускные клапаны системы АБС;
- переключающие и клапаны высокого давления системы ПБС;
- контрольные лампы системы СКУ, системы АБС, тормозной системы.

Для работы системы динамической стабилизации используется гидравлический блок системы АБС/ПБС со всеми компонентами.

Определение наступления аварийной ситуации осуществляется путем сравнения действий водителя и параметров движения автомобиля. В случае, когда действия водителя (желаемые параметры движения) отличаются от фактических параметров движения автомобиля, система СКУ распознает ситуацию как неконтролируемую и включается в работу.

Стабилизация движения автомобиля с помощью системы курсовой устойчивости может достигаться несколькими способами:

- подтормаживанием определенных колес;
- изменением крутящего момента двигателя;
- изменением угла поворота передних колес (при наличии системы активного рулевого управления);

- изменением степени демпфирования амортизаторов (при наличии адаптивной подвески).

При недостаточной поворачиваемости система СКУ предотвращает увод автомобиля наружу за пределы траектории поворота, подтормаживая заднее внутреннее колесо и изменяя крутящий момент двигателя.

В системе подтормаживания задействованы агрегаты антиблокировочной системы автомобиля (АБС). Электронный блок управления (ЭБУ) постоянно получает и анализирует сигналы от датчиков угла поворота рулевого колеса, бокового ускорения, угловой скорости вращения кузова относительно вертикальной оси, частоты вращения колес. В момент, когда сочетание показаний датчиков воспринимается ЭБУ как приближение к критическому режиму (занос, начало бокового скольжения), он выдает сигнал гидравлической системе подтормаживания и блоку управления двигателем. При этом одно или несколько колес одного борта начинают подтормаживаться, что приводит к возникновению поворачивающего момента относительно вертикальной оси, который предотвращает развитие аварийной ситуации. Одновременно воздействие на блок управления двигателем позволяет уменьшить подачу топлива и снизить скорость движения до безопасного уровня.

При избыточной поворачиваемости занос автомобиля в повороте предотвращается подтормаживанием переднего наружного колеса и изменением крутящего момента двигателя.

Подтормаживание колес производится путем включения в работу соответствующих систем активной безопасности. Работа при этом носит циклический характер: увеличение давления, удержание давления и сброс давления в тормозной системе.

Изменение крутящего момента двигателя в системе СКУ может осуществляться несколькими путями:

- изменением положения дроссельной заслонки;
- пропуском впрыска топлива;
- пропуском импульсов зажигания;
- изменением угла опережения зажигания;
- отменой переключения передачи в АКПП;
- перераспределением крутящего момента между осями (при наличии полного привода).

При установленном на автомобиль электро- или электрогидро- усилителе руля, блок управления может влиять на угол поворота колес. Также, при установленной на автомобиле активной системе подвески, имеется возможность изменить степень демпфирования амортизаторов.

Физическая картина потери устойчивости курсового движения при юзе колес показана на рис. 20.

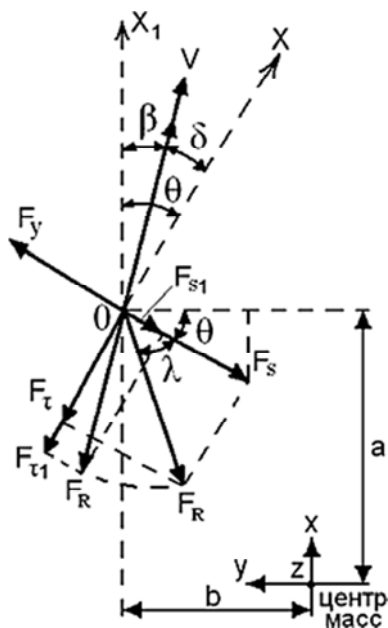


Рис. 20. Силы, действующие на управляемое колесо автомобиля при повороте

Во время поворота с торможением на управляемые колеса автомобиля действуют боковая сила  $F_S$  и тормозная  $F_v$ . При повороте колеса на угол  $0^\circ$  под действием боковой силы  $F_S$  эластичная шина колеса деформируется в боковом направлении и возникает боковой увод шины колеса. В результате бокового увода вектор скорости поступательного движения центра колеса  $V_K$  отклоняется от плоскости вращения колеса (след плоскости  $OX$ , рис. 20, 21) на угол бокового увода  $\delta$ , а от первоначального (заданного) положения  $X_1$  – на угол  $\beta$ , называемый в некоторых источниках углом «рыскания».



Увеличение боковой силы  $F_S$  является основной причиной увеличения угла бокового увода.

С увеличением боковой силы угол увода  $\delta$  увеличивается, и в пределе  $12\text{--}20^\circ$  (на сухом асфальте) сила сцепления шины колеса с поверхностью дороги  $F_y$  становится равной боковой силе  $F_S$ .

С этого момента деформационное скольжение (увод колеса) переходит в фазу неустойчивого относительно бокового скольжения – юз.

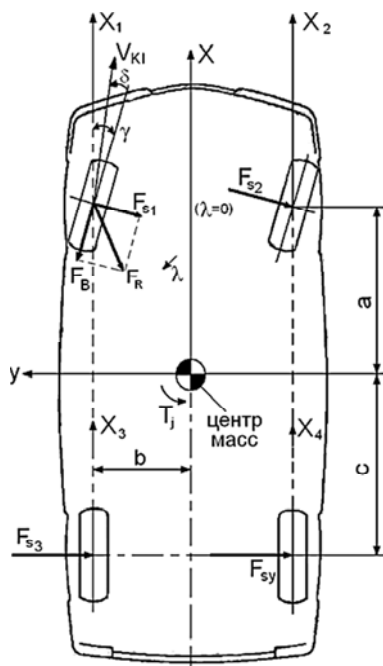


Рис. 21. Силы, действующие на автомобиль при повороте

Система курсовой устойчивости, или система динамической стабилизации, способна поддерживать заданное водителем направление движения в различных условиях.

При сносе или заносе СКУ воздействует на тормоза и/или крутящий момент двигателя в зависимости от ситуации. Если автомобиль не вписывается в левый поворот, СКУ подтормозит заднее левое колесо, создав дополнительный момент вращения (рис. 22).

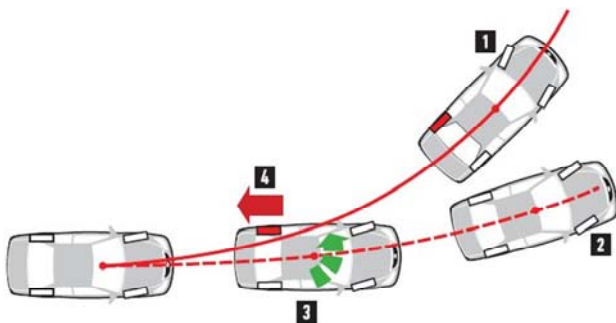


Рис. 22. Работа СКУ при сносе автомобиля:  
 1 – направление движения при вмешательстве СКУ;  
 2 – направление движения без вмешательства СКУ;  
 3 – вспомогательный момент вращения вокруг вертикальной оси;  
 4 – приложенная тормозная сила

В случае возникновения заноса в этом же повороте электронный помощник исправит ситуацию, придержав переднее правое колесо. Направленный вправо противодействующий момент погасит занос (рис. 23).

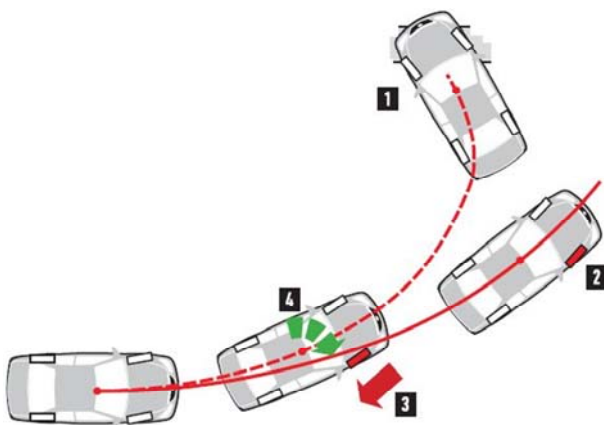


Рис. 23. Работа СКУ при заносе автомобиля:  
 1 – направление движения без вмешательства СКУ;  
 2 – направление движения при вмешательстве СКУ;  
 3 – приложенная тормозная сила;  
 4 – противодействующий момент вращения вокруг вертикальной оси

Система действует на упреждение, пресекая саму возможность неустойчивости. Часто водитель даже не ощущает стороннего вмешательства – лишь индикация системы дает понять, что он где-то ошибся.

На рис. 24 показана схема алгоритма работы контроллера системы динамической стабилизации.

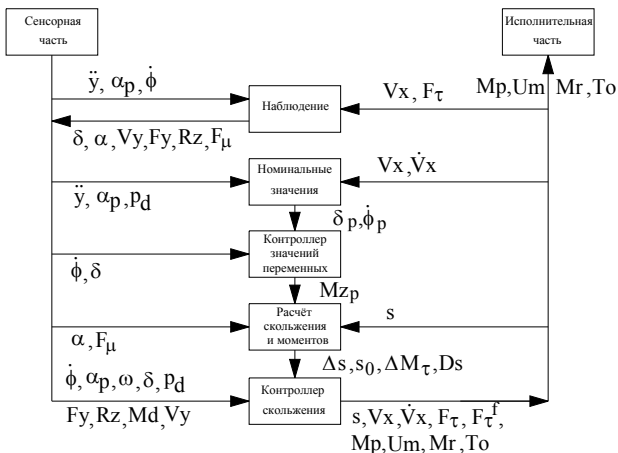


Рис. 24. Схема контроллера системы динамической стабилизации

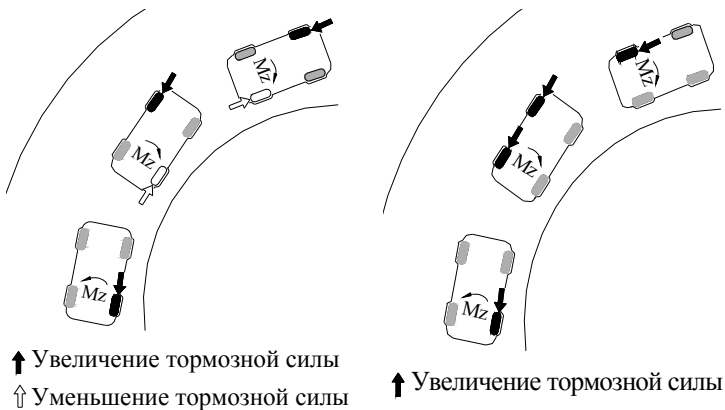


Рис. 25. Криволинейное движение автомобиля с системой динамической стабилизации: криволинейное торможение с включенной системой (слева); криволинейное торможение с включенной системой (справа)



Рис. 26. Работа системы СКУ при различной поворачиваемости одиночного автомобиля

### *Дополнительные функции системы курсовой устойчивости*

В конструкции системы курсовой устойчивости могут быть реализованы следующие дополнительные функции (подсистемы): гидравлический усилитель тормозов, предотвращение опрокидывания, предотвращение столкновения, стабилизация автопоезда, повышение эффективности тормозов при нагреве, удаление влаги с тормозных дисков и др.

Все перечисленные системы, в основном, не имеют своих конструктивных элементов, а являются программным расширением системы СКУ.

**Система предотвращения опрокидывания ROP (Roll Over Prevention)** стабилизирует движение автомобиля при угрозе опрокидывания. Предотвращение опрокидывания достигается за счет уменьшения поперечного ускорения путем подтормаживания передних колес и снижения крутящего момента двигателя. Дополнительное давление в тормозной системе создается с помощью активного усилителя тормозов.

**Система предотвращения столкновения (Braking Guard)** может быть реализована в автомобиле, оснащенный адаптивным круиз-контролем. Система предотвращает опасность столкновения с помощью визуальных и звуковых сигналов, а в критической ситуации – путем нагнетания давления в тормозной системе (автоматического включения насоса обратной подачи).

**Система стабилизации автопоезда** может быть реализована в автомобиле, оборудованном тягово-сцепным устройством. Система предотвращает рыскание прицепа при движении автомобиля, которое достигается за счет торможения колес или снижения крутящего момента.

**Система повышения эффективности тормозов при нагреве FBS (Fading Brake Support, другое наименование – Over Boost)** предотвращает недостаточное сцепление тормозных колодок с тормозными дисками, возникающее при нагреве, путем дополнительного увеличения давления в тормозном приводе.

**Система удаления влаги с тормозных дисков** активируется на скорости свыше 50 км/ч и при включенных стеклоочистителях. Принцип работы системы заключается в кратковременном повышении давления в контуре передних колес, за счет чего тормозные колодки прижимаются к дискам и происходит испарение влаги.

Система, объединяющая систему курсовой устойчивости, рулевое управление и подвеску, носит название **интегрированной системы управления динамикой автомобиля**.

#### 4. ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ С КУРСОВОЙ УСТОЙЧИВОСТЬЮ

Общее диагностирование тормозных систем в АТО (автотранспортной организации), организациях автосервиса (ОА) или контроль при прохождении государственного технического осмотра включает:

- измерительный контроль эффективности торможения транспортного средства (ТС) рабочей и стояночной тормозными системами, а также устойчивости ТС при торможении рабочей тормозной системой;
- органолептический и, при необходимости, измерительный контроль герметичности пневматического или пневматической части гидравлического тормозного привода и элементов тормозных механизмов колес.

**Измерительный контроль** технического состояния и параметров работоспособности элементов тормозной системы автомобиля включает:

- испытания на статических силовых стендах;
- испытания на инерционных платформенных стендах;
- испытания на роликовых стендах.

Эффективность торможения ТС измеряют с использованием роликового тормозного стенда для проверки тормозных систем или дорожным методом, если в силу своих размерных или конструктивных характеристик ТС не могут пройти контроль этих показателей на стенде.

Устойчивость ТС (способность транспортного средства двигаться при торможении в пределах коридора движения) проверяется как на роликовом тормозном стенде, так и в дорожных условиях.

Наиболее простым является **способ бортовой диагностики**. Специальное устройство сканер подключают к специальному диагностическому разъему автомобиля. Прибор проводит считывание кодов ошибок систем автомобиля. Исходя из номера ошибки и таблицы соответствия кода неисправности и ее названия, можно определить возможную причину неисправности либо сузить круг возможных причин данной неисправности.

**Органолептический контроль.** Органолептический контроль включает контроль технического состояния элементов тормозного привода и тормозных механизмов колес. При контроле техническо-

го состояния элементов тормозного привода проводят следующие проверки:

- осмотр на наличие повреждений;
- оценку надежности крепления;
- оценку производительности пневматического тормозного привода;
- осмотр правильности функционирования.

Элементы тормозного привода ТС считаются неисправными в случае:

- наличия остаточной деформации, трещин и других дефектов;
- наличия не предусмотренного конструкцией ТС контакта трубопроводов с элементами ТС и других дефектов;
- невозможности удержания запирающим устройством рычага (рукоятки) управления стояночной тормозной системой;
- нерабочего состояния манометра пневматического или пневмогидравлического тормозного привода;
- нарушения герметичности гидравлического тормозного привода (наличия подтекания тормозной жидкости);
- ненадежного крепления;
- срабатывания системы сигнализации и контроля работы тормозных систем за менее чем четыре цикла полного приведения в действие рабочей тормозной системы;
- набухания шлангов тормозного привода под давлением, повреждения наружного слоя шлангов, доходящего до слоя их армирования;
- нерабочего состояния системы сигнализации и контроля работы тормозных систем;
- наличия заедания или бокового смещения тормозной педали;
- неработоспособного состояния функции автоматического аварийного торможения прицепа;
- отсутствия предусмотренных конструкцией ТС или установки без согласования с изготовителем либо иной уполномоченной организацией дополнительных элементов тормозного привода.

При контроле технического состояния элементов тормозных механизмов колес проводят следующие проверки:

- осмотр на наличие повреждений (трещин, остаточной деформации и других дефектов);

- оценку надежности крепления;
- осмотр легкости перемещения.

Элементы тормозных механизмов колес ТС считаются неисправными в случае:

- наличия загрязнений, затрудняющих проведение проверок;
- наличия остаточной деформации, трещин и других дефектов;
- заедания элементов тормозного механизма;
- ненадежного крепления;
- отсутствия предусмотренных конструкцией ТС или установки без согласования с изготовителем либо иной уполномоченной организацией дополнительных элементов тормозных механизмов.

При поэлементном диагностировании тормозной системы автомобиля определяют свободный ход тормозной педали; зазоры между фрикционными накладками и тормозными барабанами колес; давление в тормозной системе; время срабатывания тормозных механизмов; величину выхода штоков из тормозных камер; расстояние от конца рычага привода регулятора давления до лонжерона кузова; работоспособность вакуумного усилителя.

Для более тщательного диагностирования отдельных элементов АБС используют осциллограф как отдельную составляющую диагностического оборудования, так и в составе сканера (компьютера; рис. 27).

Целостность обмотки колесного датчика можно проверить, измерив его сопротивление, значение которого должно быть близким 1 кОм и не должно изменяться при изгибе провода датчика. Повреждения колесных зубчатых дисков определить без применения осциллографа очень сложно.

При несоответствии сигналов, поступающих от колесных датчиков или при определении других неисправностей, система АБС полностью отключается, загорается сигнальная лампа «АБС». Тормозная система при этом продолжает работать так, как на обычном автомобиле без системы АБС.

На работоспособность системы АБС так же влияет величина напряжения аккумуляторной батареи, так как исполнительные элементы гидравлического блока могут потреблять большой ток в активном состоянии. При уменьшении напряжения ниже 10,5 В уже сложно обеспечить необходимый режим работы модуляторов,



и система АБС может самостоятельно выключиться через предохранительный электронный блок.

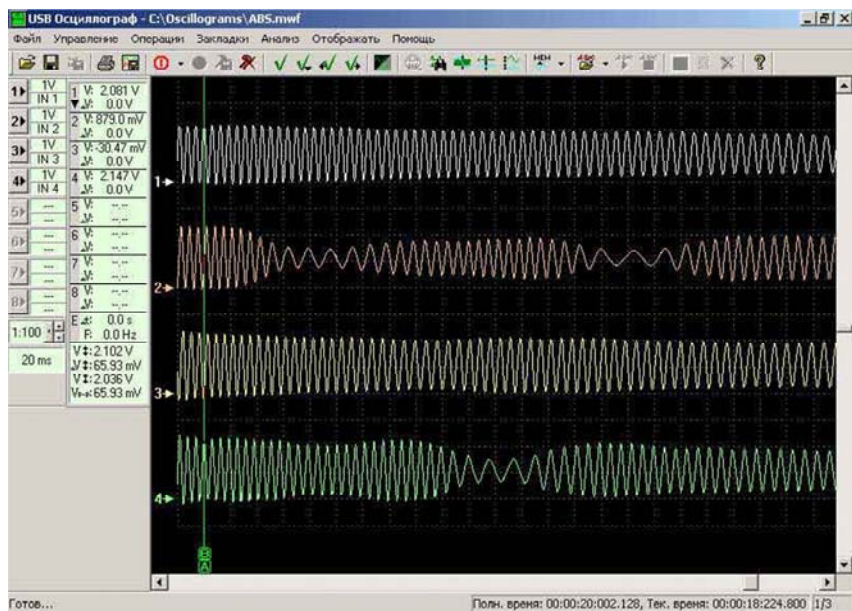


Рис. 27. Осциллограммы напряжения выходного сигнала колесных датчиков системы АБС, полученные при экстренном торможении автомобиля на скользком дорожном покрытии:

- 1 – осциллограмма напряжения выходного сигнала исправного датчика частоты вращения (в данном случае заднего правого колеса), работающего в паре с неисправным зубчатым диском. В задающем диске образовалась трещина;
- 2 – осциллограмма напряжения выходного сигнала исправного датчика частоты вращения (в данном случае переднего правого колеса);
- 3 – осциллограмма напряжения выходного сигнала неправильно установленного исправного датчика частоты вращения (в данном случае заднего левого колеса). Амплитуда выходного сигнала датчика уменьшена из-за увеличенного зазора между датчиком и зубчатым диском;
- 4 – осциллограмма напряжения выходного сигнала исправного датчика частоты вращения (в данном случае переднего левого колеса)

## 5. ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ СИСТЕМ АБС, ПБС И СКУ С ПОМОЩЬЮ УНИВЕРСАЛЬНОЙ РАСШИРЯЕМОЙ ПЛАТФОРМЫ EXTLAB

**Extlab** – это универсальная расширяемая платформа, охватывающая широкий спектр электротехнических дисциплин (рис. 28): электрические машины; электротехника и основы электроники; аналоговая и цифровая электроника; микропроцессорная техника; теоретические основы электротехники; преобразовательная техника; основы цифровой техники; радиотехника и телекоммуникации, оптоволоконная связь; радиотехнические цепи и сигналы; схемотехника аналоговых устройств; автомобильная электроника.

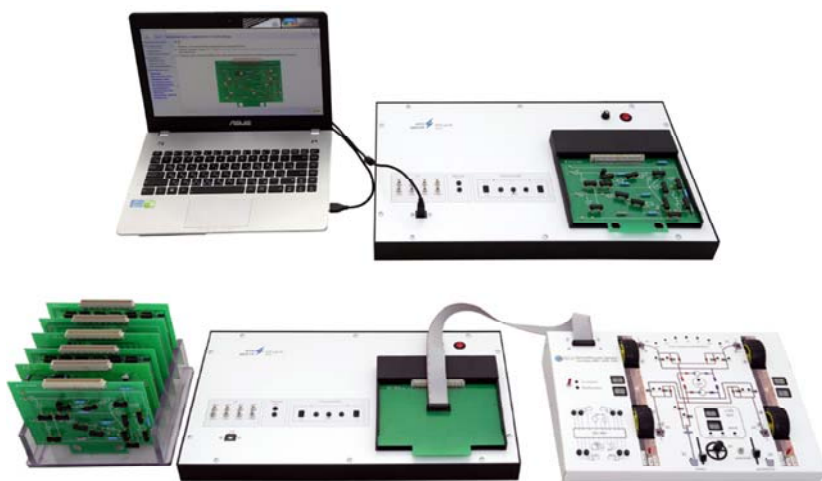


Рис. 28. Набор сменных панелей НТЦ-15 ExtLab  
«Автомобильная и автотракторная электроника»

Учебный лабораторный стенд выполнен в виде настольной установки в алюминиевом корпусе. На передней панели стенда размещен платоприемник, коммутационные гнезда осциллографа и генератора, магазин конденсаторов, разъем USB, элементы управления и защиты.

Управление стендом осуществляется через ПК по шине USB. После запуска программное обеспечение автоматически проверяет

подключение и устанавливает связь со стендом. Обмен данными происходит непрерывно на всем протяжении выполнения эксперимента.

Разделенные по курсам наборы сменных панелей выполнены в виде печатных плат с разъемом для платоприемника и элементами схем. Некоторые панели снабжены дополнительными блоками с объектами исследования. Коммутация элементов на сменной панели осуществляется с помощью специальных жестких перемычек (шириной 15 мм), обеспечивающих наглядность собранных схем и защиту от ложных соединений. Схемы прорисованы таким образом, чтобы сделать аварийное соединение невозможным. Каждая панель имеет свой восьмиразрядный адрес для распознавания системой ExtLab.

Преподаватели имеют возможность самостоятельно выбрать необходимые сменные панели, сформировав набор, максимально точно отвечающий учебной программе преподаваемой дисциплины. Перечень курсов регулярно дополняется новыми дисциплинами. Также возможно изготовление панелей по техническому заданию заказчика.

В состав набора сменных панелей НТЦ-15 ExtLab входит набор панелей «Автомобильная и автотракторная электроника», в которой находится сменная панель НТЦ-15/13 ExtLab «Системы ABS, ASR, ESP» (рис. 29).

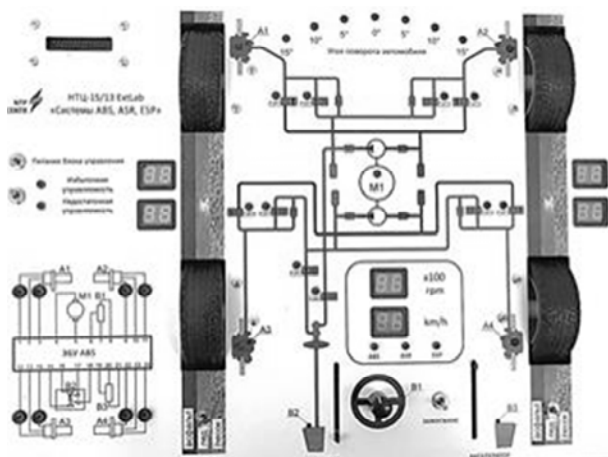


Рис. 29. Сменная панель НТЦ-15/13 ExtLab «Системы ABS, ASR, ESP»

Сменная панель НТЦ-15/13 ExtLab «Системы ABS, ASR, ESP» позволяет проводить следующие эксперименты: исследование антиблокировочной системы ABS; исследование противобуксовочной системы ПБС; исследование электронной системы стабилизации СКУ.

Последовательность выполнения работ по определению параметров торможения на разных типах покрытия при включенном и выключенном блоке управления тормозной системой.

### *Антиблокировочная система ABS*

#### **1. Исследование сигнала датчика скорости**

В ходе данного эксперимента можно наблюдать работу компонентов системы торможения автомобиля в процессе торможения на хорошем дорожном покрытии.

*Последовательность выполнения работы:*

1.1. Перевести тумблер блока управления в положение «Включено» (вверх).

1.2. Перевести тумблер зажигания и положение «Включено» (вверх).

1.3. Рулевое колесо выставить в нулевое положение, чтобы угол поворота автомобиля был равен  $0^\circ$  (смотреть по индикаторам рассогласования между заданным и реальным курсом автомобиля).

1.4. Переключатель должных условий для левых колес перевести в положение «Асфальт».

1.5. Переключатель дорожных условий для правых колес перевести в положение «Асфальт».

1.6. Педаль тормоза перевести в нулевое положение (вниз).

1.7. Педаль газа (акселератора) перевести в верхнее положение и разогнать автомобиль до 65 км/час (смотреть по спидометру).

1.8. Наблюдать за изменением скорости колес и скорости автомобиля.

1.9. Затормозить, для этого педаль газа перевести в нулевое положение (вниз), а педаль тормоза – в верхнее положение.

1.10. Пронаблюдать за изменением скорости колес и автомобиля, а также поведение системы торможения с помощью соответствующих индикаторов.

1.11. Записать свои наблюдения.

## **2. Торможение по асфальту с выключенным блоком управления**

В ходе данного эксперимента можно наблюдать работу компонентов системы торможения автомобиля в процессе торможения по льду без системы АБС.

*Последовательность выполнения работы:*

2.1. Перевести тумблер блока управления в положение «Выключено» (вниз).

2.2. Перевести тумблер зажигания в положение «Включено» (вверх).

2.3. Рулевое колесо выставить в нулевое положение, чтобы угол поворота автомобиля был равен  $0^\circ$  (смотреть по индикаторам рассогласования между заданным и реальным курсом автомобиля).

2.4. Переключатель дорожных условий для левых колес перевести в положение «Асфальт».

2.5. Переключатель дорожных условий для правых колес перевести в положение «Асфальт».

2.6. Педаль тормоза перевести в нулевое положение.

2.7. Педаль газа (акселератора) перевести в верхнее положение и разогнать автомобиль до 65 км/ч (смотреть по спидометру).

2.8. Наблюдать за изменением скоростей колес и скорости автомобиля.

2.9. Перевести переключатель дорожных условий для правых колес в положение «Лед».

2.10. Затормозить, для этого педаль газа перевести в нулевое положение (вниз), педаль тормоза – в верхнее положение.

2.11. Пронаблюдать за изменением скорости колес и автомобиля, а также поведение системы торможения с помощью соответствующих индикаторов.

2.12. Записать свои наблюдения.

2.13. Педаль тормоза перевести в нулевое положение (вниз).

## **3. Торможение по льду с выключенным блоком управления**

В ходе данного эксперимента можно пронаблюдать работу компонентов системы торможения автомобиля с системой АБС в процессе торможения по льду.

*Последовательность выполнения работы:*

3.1. Перевести тумблер блока управления в положение «Включено» (вверх).

3.2. Перевести тумблер зажигания в положение «Включено» (сверх).

3.3. Рулевое колесо выставить в нулевое положение, чтобы угол поворота автомобиля был равен  $0^\circ$  (смотреть по индикаторам рассогласования заданным и реальным курсом автомобиля).

3.4. Переключатель дорожных условий для левых колес перевести в положение «Асфальт».

3.5. Переключатель дорожных условий для правых колес перевести в положение «Лед».

3.6. Педаль тормоза перевести в нулевое положение (вниз).

3.7. Педаль газа (акселератора) перевести в верхнее положение и разогнать автомобиль до 65 км/час (смотреть по спидометру).

3.8. Наблюдать за изменением скорости колес и скорости автомобиля.

3.9. Перевести переключатель дорожных условий для правых колес в положение «Лед».

3.10. Затормозить, для этого педаль газа перевести в нулевое положение (вниз), а педаль тормоза – в верхнее положение.

3.11. Пронаблюдать за изменением скорости колес и автомобиля, а также поведением системы торможения с помощью соответствующих индикаторов.

3.12. Записать свои наблюдения.

3.13. Повторить действия пунктов 3.4–3.12, только при выполнении пункта 3.9, перевести переключатели дорожных условий и для правых, и для левых колес в положение «Лед». Записать свои наблюдения.

#### **4. Торможение по льду с включенным блоком управления**

В ходе данного эксперимента можно пронаблюдать работу компонентов системы торможения автомобиля с системой АБС в процессе торможения по льду.

*Последовательность выполнения работы:*

4.1. Перевести тумблер блока управления в положение «Выключено» (вниз).

4.2. Перевести тумблер зажигания в положение «Включено» (вверх).

4.3. Рулевое колесо выставить в нулевое положение, чтобы угол поворота автомобиля был равен  $0^\circ$  (смотреть по индикаторам рассогласования между заданным и реальным курсом автомобиля).

4.4. Переключатель дорожных условий для левых колес перевести в положение «Асфальт».

4.5. Переключатель дорожных условий для правых колес перевести в положение «Лед».

4.6. Педаль тормоза перевести в нулевое положение (вниз).

4.7. Педаль газа (акселератора) перевести в верхнее положение и разогнать автомобиль до 65 км/час (смотреть по спидометру).

4.8. Наблюдать за изменением скорости колес и скорости автомобиля.

4.9. Записать свои наблюдения.

4.10. Затормозить, для этого педаль газа перевести в нулевое положение (вниз), тормоза – в верхнее положение. После того, как скорость автомобиля станет равной нулю, педаль тормоза перевести в нулевое положение.

### ***Противобуксовочная система ПБС***

#### **1. Разгон по асфальту с выключенным блоком управления**

В ходе данного эксперимента можно наблюдать процесс разгона автомобиля без системы ПБС по льду.

*Последовательность выполнения работы:*

1.1. Перевести тумблер блока управления в положение «Выключено» (вниз).

1.2. Перевести тумблер зажигания в положение «Включено» (вверх).

1.3. Рулевое колесо выставить в нулевое положение, чтобы угол поворота автомобиля был равен  $0^\circ$  (смотреть по индикаторам рассогласования между заданным и реальным курсом автомобиля).

1.4. Переключатель дорожных условий для левых колес перевести в положение «Асфальт».

1.5. Переключатель дорожных условий для правых колес перевести в положение «Асфальт».

1.6. Педаль тормоза перевести в нулевое положение (вниз).

1.7. Педаль газа (акселератора) перевести в верхнее положение и разогнать автомобиль до 65 км/час (смотреть по спидометру).

1.8. Наблюдать за изменением скорости колес и скорости автомобиля.

1.9. Записать свои наблюдения.

1.10. Затормозить, для этого педаль газа перевести в нулевое положение (вниз), тормоза – в верхнее положение. После того, как скорость автомобиля станет равной нулю, педаль тормоза перевести в нулевое положение.

## **2. Разгон по льду с включенным блоком управления**

В ходе данного эксперимента можно наблюдать процесс разгона автомобиля без системы ПБС по льду.

*Последовательность выполнения работы:*

2.1. Перевести тумблер блока управления в положение «Включено» (вверх).

2.2. Перевести тумблер зажигания в положение «Включено» (вверх).

2.3. Рулевое колесо выставить в нулевое положение, чтобы угол поворота автомобиля был равен  $0^\circ$  (смотреть по индикаторам рассогласования между заданным и реальным курсом автомобиля).

2.4. Переключатель дорожных условий для левых колес перевести в положение «Асфальт».

2.5. Переключатель дорожных условий для правых колес перевести в положение «Лед».

2.6. Педаль тормоза перевести в нулевое положение (вниз).

2.7. Педаль газа (акселератора) перевести в верхнее положение и разогнать автомобиль до 65 км/час (смотреть по спидометру).

2.8. Наблюдать за изменением скорости колес и скорости автомобиля.

2.9. Записать свои наблюдения.

2.10. Затормозить, для этого педаль газа перевести в нулевое положение (вниз), тормоза – в верхнее положение. После того, как скорость автомобиля станет равной нулю, педаль тормоза перевести в нулевое положение.

## **3. Разгон по песку с выключенным блоком управления**

В ходе данного эксперимента можно наблюдать процесс разгона автомобиля без системы ПБС по песку.

*Последовательность выполнения работы:*

3.1. Перевести тумблер блока управления в положение «Выключено» (вниз).

3.2. Перевести тумблер зажигания в положение «Включено» (вверх).



3.3. Рулевое колесо выставить в нулевое положение, чтобы угол поворота автомобиля был равен  $0^\circ$  (смотреть по индикаторам рассогласования между заданным и реальным курсом автомобиля).

3.4. Переключатель дорожных условий для левых колес перевести в положение «Асфальт».

3.5. Переключатель дорожных условий для правых колес перевести в положение «Песок».

3.6. Педаль тормоза перевести в нулевое положение (вниз).

3.7. Педаль газа (акселератора) перевести в верхнее положение и разогнать автомобиль до 65 км/час (смотреть по спидометру).

3.8. Наблюдать за изменением скорости колес и скорости автомобиля.

3.9. Записать свои наблюдения.

3.10. Затормозить, для этого педаль газа перевести в нулевое положение (вниз), тормоза – в верхнее положение. После того, как скорость автомобиля станет равной нулю, педаль тормоза перевести в нулевое положение.

#### **4. Разгон по песку с включенным блоком управления**

В ходе данного эксперимента можно наблюдать процесс разгона автомобиля с системой ПБС по песку.

*Последовательность выполнения работы:*

4.1. Перевести тумблер блока управления в положение «Включено» (вверх).

4.2. Перевести тумблер зажигания в положение «Включено» (вверх).

4.3. Рулевое колесо выставить в нулевое положение, чтобы угол поворота автомобиля был равен  $0^\circ$  (смотреть по индикаторам рассогласования между заданным и реальным курсом автомобиля).

4.4. Переключатель дорожных условий для левых колес перевести в положение «Асфальт».

4.5. Переключатель дорожных условий для правых колес перевести в положение «Песок».

4.6. Педаль тормоза перевести в нулевое положение (вниз).

4.7. Педаль газа (акселератора) перевести в верхнее положение и разогнать автомобиль до 65 км/час (смотреть по спидометру).

4.8. Изменяя угол поворота рулевого колеса, зафиксировать в табл. 4.1 растормаживание каких колес происходит при этом, при

различных типах управления автомобилем (избыточная и недостаточная управляемость).

Таблица 4.1

Поведение тормозной системы автомобиля с СКУ

Тип управляемости автомобиля	Поворот влево	Поворот вправо
Избыточная управляемость		
Недостаточная управляемость		

4.9. Наблюдать за изменением скорости колес и скорости автомобиля.

4.10. Записать свои наблюдения.

4.11. Затормозить, для этого педаль газа перевести в нулевое положение (вниз), тормоза – в верхнее положение. После того, как скорость автомобиля станет равной нулю, педаль тормоза перевести в нулевое положение.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Электронные системы управления автомобилем: лабораторные работы (практикум) для студентов специальностей 1-37 01 06 «Техническая эксплуатация автомобилей» и 1-37 01 07 «Автосервис»: в 3 ч. / сост.: А. С. Гурский, Е. Л. Савич. – Минск: БНТУ, 2007–2012. – Ч. 2: Диагностирование датчиков и исполнительных механизмов электронных систем управления. – 106 с.

2. Электронные системы управления автомобилем: лабораторные работы (практикум) для студентов специальностей 1-37 01 06 «Техническая эксплуатация автомобилей» и 1-37 01 07 «Автосервис»: в 3 ч. / сост.: Е. Л. Савич, А. С. Гурский. – Минск: БНТУ, 2007–2012. – Ч. 3: Диагностирование электронных блоков управления автомобильных систем. – 2012. – 63 с.

3. Гурский, А. С. Интеллектуальные системы управления автомобилем. Силовые установки: лабораторный практикум для студентов специальности 1-37 01 07 «Автосервис» / А. С. Гурский, Е. Л. Савич. – Минск: БНТУ, 2017. – 50 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
1. АНТИБЛОКИРОВОЧНАЯ СИСТЕМА .....	9
2. ПРОТИВОБУКСОВОЧНАЯ СИСТЕМА .....	18
3. СИСТЕМА КУРСОВОЙ УСТОЙЧИВОСТИ .....	25
4. ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ С КУРСОВОЙ УСТОЙЧИВОСТЬЮ .....	38
5. ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ СИСТЕМ АБС, ПБС И СКУ С ПОМОЩЬЮ УНИВЕРСАЛЬНОЙ РАСШИРЯЕМОЙ ПЛАТФОРМЫ EXTLAV .....	42
ЛИТЕРАТУРА .....	51

Учебное издание

## **ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЕМ**

Лабораторный практикум  
для студентов специальностей 1-37 01 07 «Автосервис»  
и направления специальности 1-37 01 06-01  
«Техническая эксплуатация автомобилей  
(автотранспорт общего и личного пользования)»

в 3 частях

Часть 3

Составители:

**ГУРСКИЙ** Александр Станиславович  
**САВИЧ** Евгений Леонидович  
**СМОЛЬСКАЯ** Валентина Станиславовна

Редактор *Е. О. Германович*  
Компьютерная верстка *Е. А. Беспанской*

Подписано в печать 16.06.2021. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная. Ризография.  
Усл. печ. л. 3,08. Уч.-изд. л. 2,41. Тираж 100. Заказ 171.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя  
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.