

УДК 629.113

*И. С. Сазонов, М. Л. Петренко, А. С. Мельников, О. В. Билык, А. В. Юшкевич,
П. А. Амельченко*

СИСТЕМЫ АКТИВНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

UDC 629.113

*I. S. Sazonov, M. L. Petrenko, A. S. Melnikov, O. V. Bilyk, A. V. Yushkevich,
N. P. Amelchenko*

ACTIVE SAFETY SYSTEMS

Аннотация

Рассмотрены различные виды систем активной безопасности. Определены их конструктивные особенности, а также достоинства и недостатки. Описана принципиальная схема системы активной безопасности на основе анализа боковых сил.

Ключевые слова:

система безопасности, блокировка, антиблокировочная система, обработка информации, боковые силы, электронно-механическая система, активная безопасность, силовой элемент, транспортное средство.

Abstract

Various types of active safety systems are considered. The design features, as well as advantages and disadvantages of active safety systems of various types are determined. The basic diagram of the active safety system is described based on the analysis of lateral forces.

Key words:

safety system, locking, anti-lock braking system, information processing, lateral forces, mechatronic system, active safety, load-bearing element, vehicle.

Гарантом безопасности транспортных средств является, прежде всего, их тормозная система, в связи с чем особое внимание уделяется решению проблем эффективности торможения, созданию высоконадежных тормозных приводов и тормозных механизмов. Как показала практика, наряду с проблемой эффективности торможения, стали выдвигаться задачи обеспечения устойчивости и управляемости движения при торможении [1].

Развитие средств повышения эффективности тормозной динамики привело к созданию антиблокировочных систем (АБС). Впервые работающая модель АБС была использована на автомобиле в 1969 г. [2].

Антиблокировочная система — система, предотвращающая блокировку колёс транспортного средства при торможении. Основное ее предназначение — обеспечение оптимальной тормозной эффективности (минимального тормозного пути) при сохранении устойчивости и управляемости автомобиля [3].

Антиблокировочная система транспортного средства представляет собой систему, оснащенную устройствами управления с обратной связью, которые предотвращают блокировку колес во время торможения и сохраняют управляемость и курсовую устойчивость транспортного средства [4].

В настоящее время система активной безопасности (САБ), как правило, является более сложной электронной системой, предназначенной для управления процессом торможения, которая может включать в себя антиблокировочную систему, антипробуксовочную систему, систему контроля курсовой устойчивости и другие системы, служащие для обеспечения безопасности.

Системы активной безопасности разделяются по используемому управляющему сигналу, принципу управления и конструкции.

По используемому управляющему сигналу САБ классифицируют следующим образом:

- системы, использующие в качестве управляющего сигнала кинематические параметры;
- системы, использующие в качестве управляющего сигнала силовые факторы.

Недостатком САБ на основе кинематических параметров является применение в алгоритме системы приближенных показаний относительной скорости автомобиля, которая базируется на сравнении сигналов нескольких датчиков измерения угловых скоростей (ускорения) вращения колес.

Недостаток применения алгоритмов на основе кинематических параметров заключается в невозможности формирования сигналов на базе прямых сигналов, полученных системой от источников информации, т. е. датчиков измерения угловых скоростей (ускорения) вращения колес, а также в необходимости создания сложных блоков обработки и анализа информации и использования нескольких измеряемых параметров.

Ряд недостатков САБ, связанных с применением информации на основании кинематических параметров в алгоритме управления электронного блока, возможно устранить при использовании в качестве обрабатываемой ин-

формации силовых факторов, возникающих в пятне контакта колеса с опорной поверхностью. Применение в качестве параметров, используемых при формировании входного сигнала в алгоритме управления САБ, производной от силовых факторов позволяет достичь повышения времени реагирования системы и избавления от времени перетормаживания в момент блокировки колеса.

Силы, возникающие в пятне контакта колеса с опорной поверхностью, представлены на рис. 1.

Рассмотрение способов формирования управляющих сигналов САБ дает возможность принять решение о необходимости использования первичной информации для управления движением двухколесного транспортного средства. Факторами, влияющими напрямую на управляемость и курсовую устойчивость двухколесного транспортного средства, являются тормозной момент и силы, возникающие в пятне контакта колеса с опорной поверхностью.

Изначально первичной задачей АБС было обеспечение управляемости и курсовой устойчивости в процессе торможения транспортного средства путем недопущения блокировки его колес при торможении. Далее, по мере развития теории управления торможением, принципы регулирования уточнялись, а в настоящее время теория управления движением транспортных средств представляет собой новое научное направление.

Современные АБС основываются на трех наиболее известных принципах управления:

- 1) регулирование по коэффициенту относительного скольжения контакта колеса;
- 2) регулирование по максимальному использованию тангенциальной реакции колеса с опорной поверхностью;
- 3) регулирование по производной от коэффициента сцепления по коэффи-

циенту относительного скольжения контакта колеса (градиентный метод) [5].

От коэффициента сцепления зави-

сит способность тормозной системы реализовывать тормозной момент. Зависимость представлена на рис. 2.



Рис. 1. Силы, возникающие в пятне контакта колеса с опорной поверхностью [4]: F_N – нормальная нагрузка; F_U – тормозная сила; F_S – поперечная сила

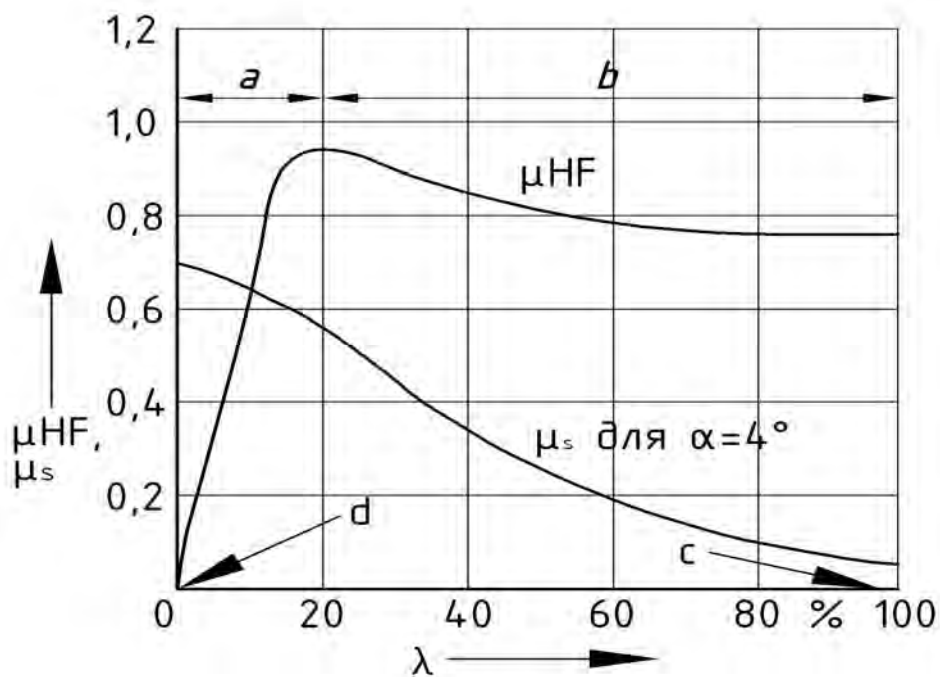


Рис. 2. Зависимость коэффициента сцепления от скольжения колес [4]: μ_s – коэффициент сцепления в поперечном направлении; μ_{HF} – коэффициент сцепления в направлении движения; а – устойчивый диапазон; б – нестабильный диапазон; с – блокировка колеса; d – состояние свободного качения

Наибольшее применение вышеуказанные принципы регулирования получили в электронно-гидравлических АБС.

Вид кривой в значительной степени зависит от типа и состояния дорожного покрытия и шин.

По конструкции антиблокировочные системы подразделяются следующим образом:

– электронно-пневматические;

– электронно-гидравлические;

– электромеханические;

– электронно-механические;

– механические.

Электронно-пневматическая АБС представлена на рис. 3.

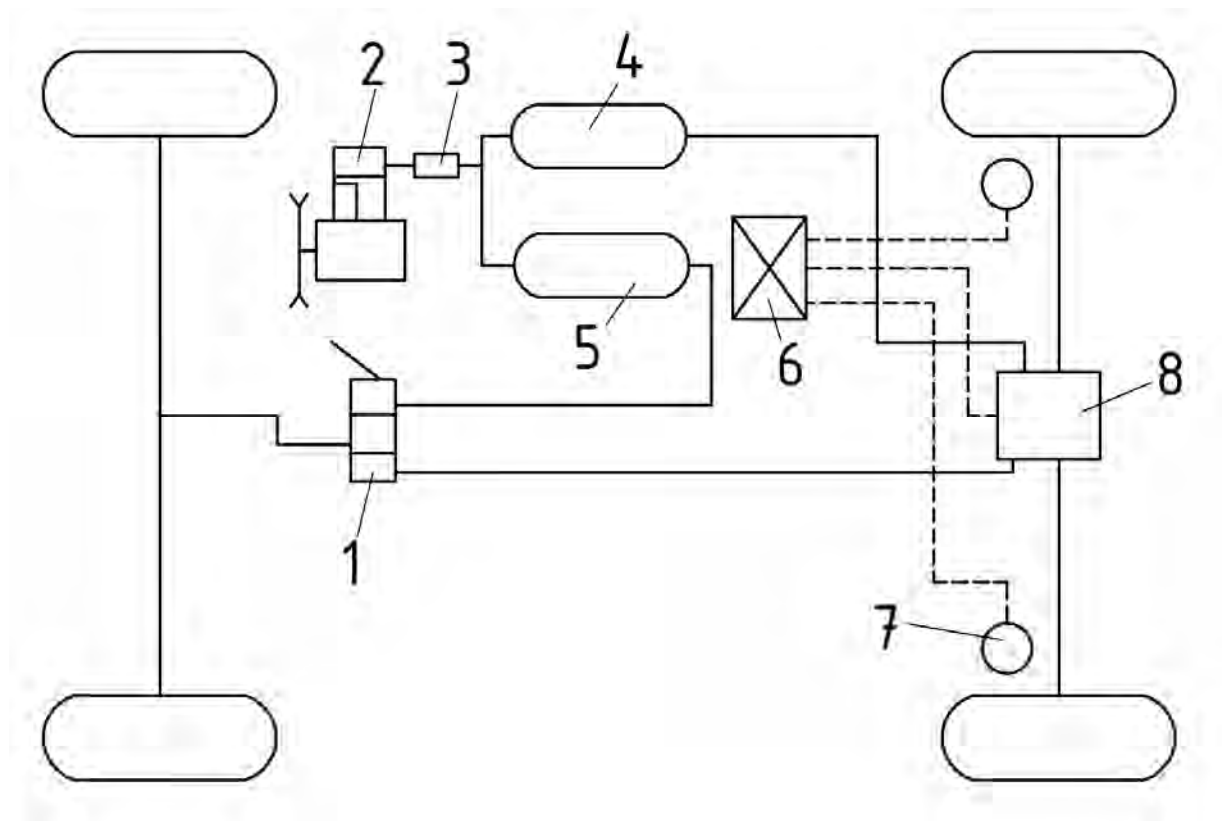


Рис. 3. Электронно-пневматическая АБС [2]: 1 – тормозной кран; 2 – компрессор; 3 – регулятор давления, создаваемого компрессором; 4, 5 – ресиверы; 6 – блок управления; 7 – датчики; 8 – модулятор давления

В пневмосистему включен дополнительный ресивер, необходимость которого обусловлена увеличением расхода сжатого воздуха при установке АБС в результате многократного впуска сжатого воздуха и выпуска его в процессе торможения. Включенный в пневмопривод модулятор, получающий команды от блока управления и регулирующий давление сжатого воздуха в тормозных камерах, работает по трехфазному циклу:

– нарастание давления сжатого воздуха, поступающего из воздушного баллона в тормозные камеры колес автомобиля. Тормозной момент на задних колесах возрастает;

– сброс давления воздуха, поступление которого в тормозные камеры прерывается и он выходит наружу. Тормозной момент на колесах падает;

– поддержание давления воздуха в тормозных камерах на постоянном уровне. Тормозной момент поддерживается постоянным.

Затем блок управления дает команду на нарастание давления, и цикл повторяется.

Преимуществом используемой системы является возможность применения с пневматической тормозной системой и установка на многосных транспортных средствах с дальнейшей реализацией больших тормозных моментов на колесах.

Особенностями использования электронно-пневматической АБС являются сложность изготовления; большое количество элементов, входящих в систему; необходимость обеспечения герметичности тормозной системы транс-

портного средства; низкая скорость срабатывания тормозной системы по отношению к гидравлической и механической тормозной системе; необходимость включения в систему дополнительных ресиверов из-за повышенного в ней расхода воздуха и применения насоса и компрессора с высокой производительностью.

Основными компонентами электронно-гидравлических АБС являются [4]:

- гидромодулятор;
- датчики скорости вращения колес;
- электронный блок управления.

Электронно-гидравлическая АБС и ее компоненты представлены на рис. 4.

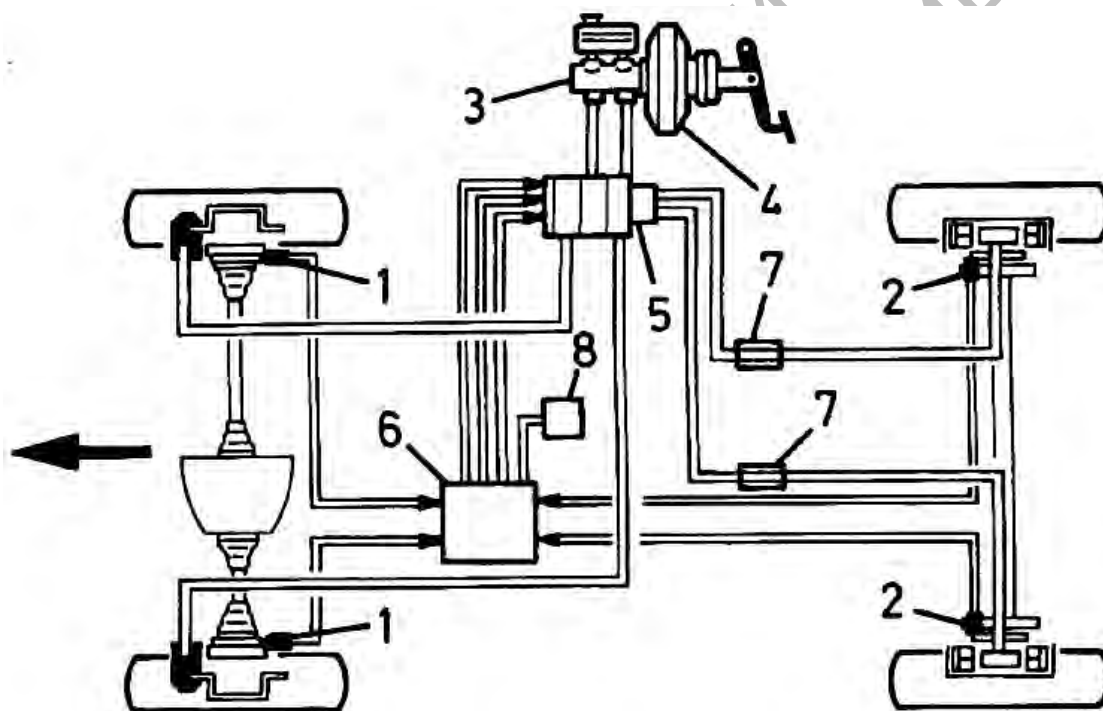


Рис. 4. Электронно-гидравлическая АБС и ее компоненты: 1 – датчики скорости вращения передних колес; 2 – датчики скорости вращения задних колес; 3 – главный тормозной цилиндр; 4 – вакуумный усилитель тормозов; 5 – гидравлический блок модуляции; 6 – электронный контрольный блок управления; 7 – регулятор давления в заднем контуре; 8 – диагностический разъем

Модуляторы работают по двух-фазному циклу:

– нарастание давления тормозной жидкости, поступающей в колесные тормозные цилиндры. Тормозной момент на колесах автомобиля возрастает;

– сброс давления тормозной жидкости, поступление которой в колесные тормозные цилиндры прекращается и она направляется в сливной бачок. Тормозной момент на колесах автомобиля уменьшается.

После этого блок управления дает команду на нарастание давления, и цикл повторяется [6].

Электронно-гидравлические антиблокировочные системы получили наибольшее развитие и применение на различных видах транспортных средств. Однако значительная сложность и высокая стоимость изготовления компонентов АБС приводят к попыткам создания электронно-механических и механических антиблокировочных систем, которые используются на транспортных средствах, хотя и имеют недостаточную чувствительность и быстродействие.

Преимуществами электронно-гидравлической АБС являются высокая скорость срабатывания тормозной системы; высокая распространенность данной системы на транспортных средствах; применение совместно с другими системами активной безопасности транспортных средств; возможность применения на транспортных средствах с различной компоновкой и размещени-

ем тормозных механизмов.

Особенностями использования электронно-гидравлической АБС являются сложность изготовления компонентов; высокая стоимость изготовления элементов тормозной системы из-за применения дорогостоящих материалов; изготовление компонентов тормозных элементов с высокой степенью точности для обеспечения герметичности тормозной системы. Использование электронно-гидравлической АБС вызывает сложность реализации алгоритмов обработки информации из-за применения кинематических параметров в качестве источника информации о состоянии дорожного покрытия и поведения транспортного средства в процессе торможения, что приводит к необходимости использования сложных алгоритмов работы системы и повышает стоимость электронных частей и блоков обработки информации.

Пример электромеханической АБС представлен на рис. 5.

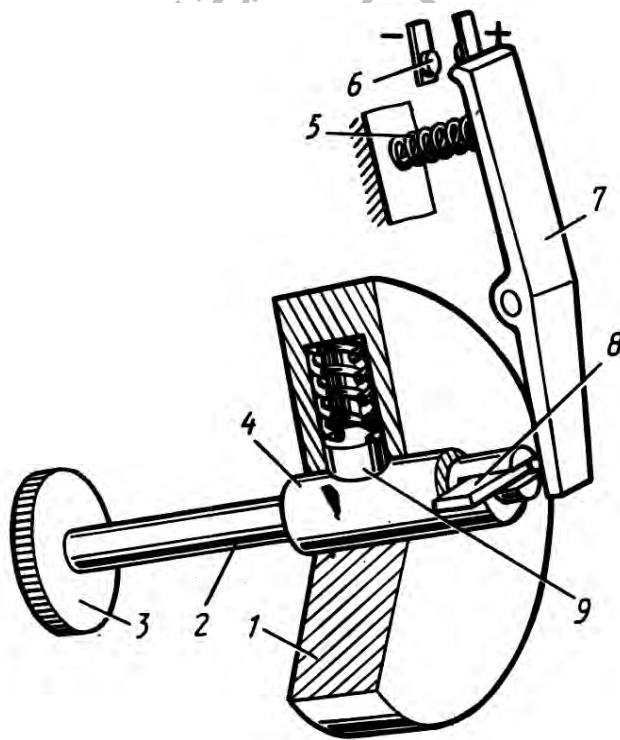


Рис. 5. Схема электромеханической АБС [6]: 1 – маховичок; 2 – вал; 3 – шестерня; 4 – втулка; 5 – сухарь; 6, 7 – пружина; 8 – микровыключатель; 9 – рычаг

Электромеханическая АБС включает в себя маховичок, который свободно установлен на втулке и связан с ней сухарем, прижимаемым к втулке пружиной. Втулка находится на валу, который приводится во вращение через шестерню от шестерни, установленной на колесе автомобиля. В торцовую прорезь вала входит плоский наконечник толкателя, заплечики которого опираются на спиральные скосы втулки. К торцу вала под действием пружины прижимается конец рычага микровыключателя. При торможении с небольшим замедлением маховичок, втулка и вал вращаются как единое целое. При торможении с большим замедлением маховичок продолжает вращаться некоторое время с прежней угловой скоростью. Вследствие этого происходит поворот маховичка с втулкой относительно вала. При этом толкатель своими заплечиками скользит по стальным скосам втулки и перемещается в осевом направлении. Толкатель, упираясь в конец рычага, поворачивает его на оси, вследствие чего замыкаются контакты микровыключателя электромагнитного клапана. Клапан прерывает связь колесного цилиндра с тормозным приводом и сообщает его с линией слива. Тормозной момент на колесе уменьшается, колесо получает ускорение, а маховичок совершает угловое перемещение в обратном направлении. Толкатель возвращается в исходное положение пружиной, колесный цилиндр соединяется с тормозным приводом, и цикл повторяется [6].

Преимуществом электромеханической АБС является невысокая стоимость изготовления по отношению к другим системам благодаря использованию недорогих материалов при изготовлении компонентов системы. В электромеханической АБС возможно применение алгоритмов обработки информации на основании кинематических и силовых управляющих сигналов о состоянии системы в процессе торможе-

ния транспортного средства.

Особенностями рассмотренной электромеханической АБС являются высокая инерционность системы; невозможность использования на транспортных средствах при необходимости реализации высоких значений тормозных моментов; необходимость интеграции с гидравлической тормозной системой; использование в качестве управляющего сигнала кинематических параметров.

Все рассмотренные выше антиблокировочные системы в основе своей работы содержат принцип анализа кинематических параметров.

Разработанная механическая антиблокировочная система, функционирующая на основе анализа силовых факторов, представлена на рис. 6.

В процессе торможения транспортного средства воздействие, приложенное к рычагу, вызывает поворот винта, сопряженного с помощью резьбовой поверхности с тормозной скобой. Это приводит к осевому перемещению винта, а также тормозной скобы, вследствие чего возникают усилия, прижимающие тормозные колодки к тормозному диску. Прижимаясь к тормозному диску, тормозные колодки создают тормозной момент, вызывающий поворот корпуса, шарнирно установленного на кронштейне с помощью оси, в сторону вращения тормозного диска.

При повороте корпуса вместе с ним перемещается тормозная скоба, которая с помощью штифта, установленного на скобе, упирается в кронштейн. При этом происходит дополнительный поворот скобы относительно корпуса, создающий автоматический эффект увеличения усилий, прижимающих колодки к диску, т. е. вызывающий дополнительное осевое перемещение винта, вследствие чего возникает дополнительное усилие, подводящее колодки к диску.

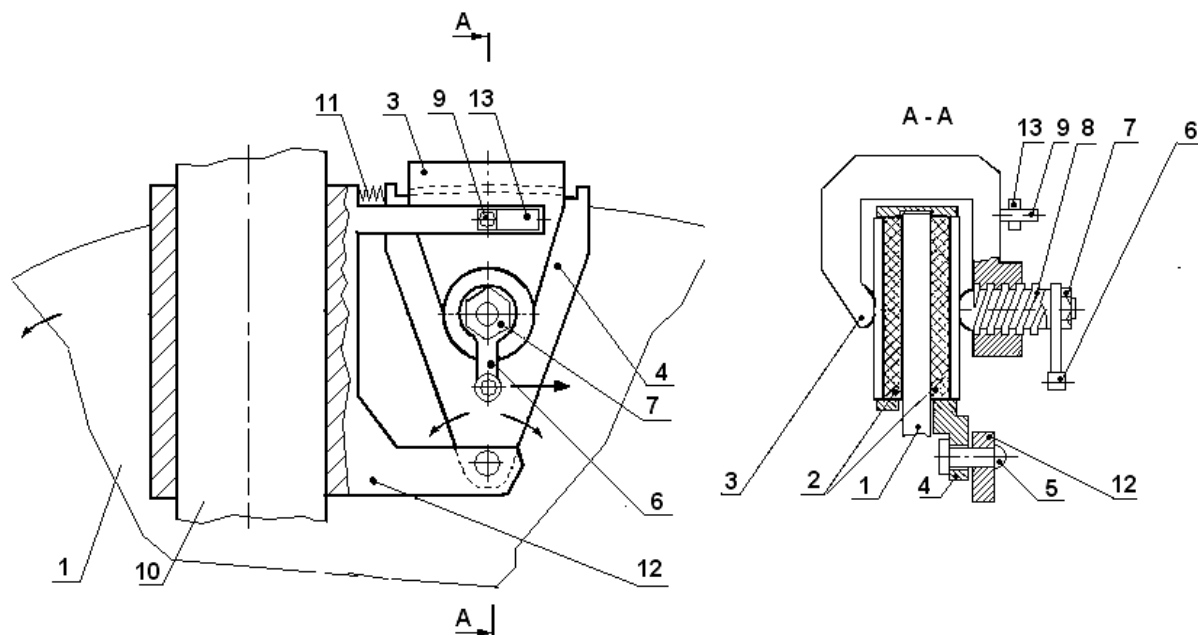


Рис. 6. Механическая антиблокировочная система [7]: 1 – диск; 2 – тормозные колодки; 3 – тормозная скоба; 4 – корпус; 5 – болт; 6 – рычаг; 7 – гайка; 8 – винт; 9 – штифт; 10 – труба передней вилки; 11 – пружина; 12 – кронштейн; 13 – пластина

При блокировке колеса сила трения в контакте шины с дорогой уменьшается, позволяя корпусу сократить угол закрутки и под действием возвратной пружины, т. е. повернуться в сторону, противоположную первоначальному повороту корпуса. Тормозная скоба, поворачиваясь вместе с корпусом в обратную сторону, упирается в пластину, установленную в кронштейне, вследствие чего происходит поворот скобы относительно корпуса в обратную сторону.

Так как скоба сопряжена с ходовым винтом с помощью резьбы, поворот скобы относительно корпуса в обратную сторону вызывает осевое перемещение винта также в обратную сторону, уменьшая тем самым усилие прижатия тормозных колодок к диску, и колесо разблокируется. Возрастание тормозного момента вновь вызывает поворот корпуса в направлении вращения тормозного диска, и процесс повторяется.

Преимуществами механической АБС являются невысокая стоимость изготовления благодаря применению недорогих материалов и стандартных ме-

тодов обработки без использования сложных технологических процессов и высоких степеней точности; применение на различных видах транспортных средств с возможностью реализации высоких тормозных моментов; функционирование алгоритмов механической АБС на основании силовых факторов, возникающих в пятне контакта колеса с опорной поверхностью; отсутствие дорогостоящих электронных систем для обработки информации о состоянии системы в процессе торможения.

Особенностью механической антиблокировочной системы является невозможность совмещения в себе функций нескольких систем активной безопасности.

Для повышения эффективности системы активной безопасности и снижения затрат на производство САБ был проведен анализ существующих систем и разработана электронно-механическая САБ на основе анализа силовых параметров при управлении процессом торможения, совмещенная с механическим дисковым тормозным приводом, адап-

тированным для использования совместно с системой активной безопасности. Система предназначена для повышения курсовой устойчивости транспортного средства в процессе торможения путем предотвращения срыва колеса в занос и недопущения бокового скольжения заблокированного колеса.

Разработанная электронно-механическая САБ содержит механический дисковый тормозной привод, адаптированный для использования совместно с системой активной безопасности, два блока сбора информации о поведении колеса в процессе торможения, блок обработки информации и управления системой, исполнительный силовой элемент, сопряженный с тормозным приводом. Блок обработки информации соединен с двумя блоками сбора информации и силовым исполнительным элементом через соединительные разъемы и шлейфы передачи сигнала.

Система работает в два этапа.

Первый этап: нарастание тормозного момента на колесе при приложении воздействия к тормозному приводу.

Второй этап: при возникновении сил, воздействующих на колесо и нарушающих курсовую устойчивость транспортного средства, силы регистрируются блоками сбора информации о поведении колеса в процессе торможения и передаются на блок обработки информации и управления системой, где по результатам обработки информации о дорожных условиях вырабатывается управляющий сигнал, подаваемый на силовой исполнительный элемент, который воздействует на тормозной привод и разблокирует колесо. После восстановления курсовой устойчивости силовой исполнительный элемент затормаживает колесо. Цикл повторяется.

Разработанная электронно-механическая САБ на основе анализа силовых параметров при управлении процессом торможения представлена на рис. 7.

Постоянное развитие электронных систем и электрических элементов соз-

дало возможность совмещения механического тормозного привода с электронной системой реализации алгоритмов на основании анализа силовых факторов, возникающих в пятне контакта колеса с опорной поверхностью.

Преимуществами разработанной электронно-механической САБ являются невысокая стоимость изготовления; возможность реализации высоких тормозных моментов; совмещение в одной САБ функций антиблокировочной системы, антипробуксовочной системы, системы контроля курсовой устойчивости.

Выводы

По результатам проведенного анализа существующих антиблокировочных систем можно сделать вывод, что рассмотренные системы активной безопасности функционируют на основании алгоритма, учитывающего комплекс кинематических параметров.

Установлено, что развитие существующих систем активной безопасности идет по пути усложнения применяемых алгоритмов обработки информации и конструкции устройств электронно-гидравлических систем активной безопасности, имеет выраженную склонность к устойчивому поиску дополнительных алгоритмов обработки информации о поведении колеса на опорной поверхности в процессе торможения.

Рост безопасности и курсовой устойчивости двухколесных транспортных средств вызывает необходимость разработки системы активной безопасности (САБ), функционирующей на основе высокоинформативных источников информации. Для повышения курсовой устойчивости и управляемости следует повысить скорость срабатывания и снизить время оттормаживания, что требует разработки новых алгоритмов обработки информации, методов расчета и конструкции САБ, функционирующей по новым критериям управления.

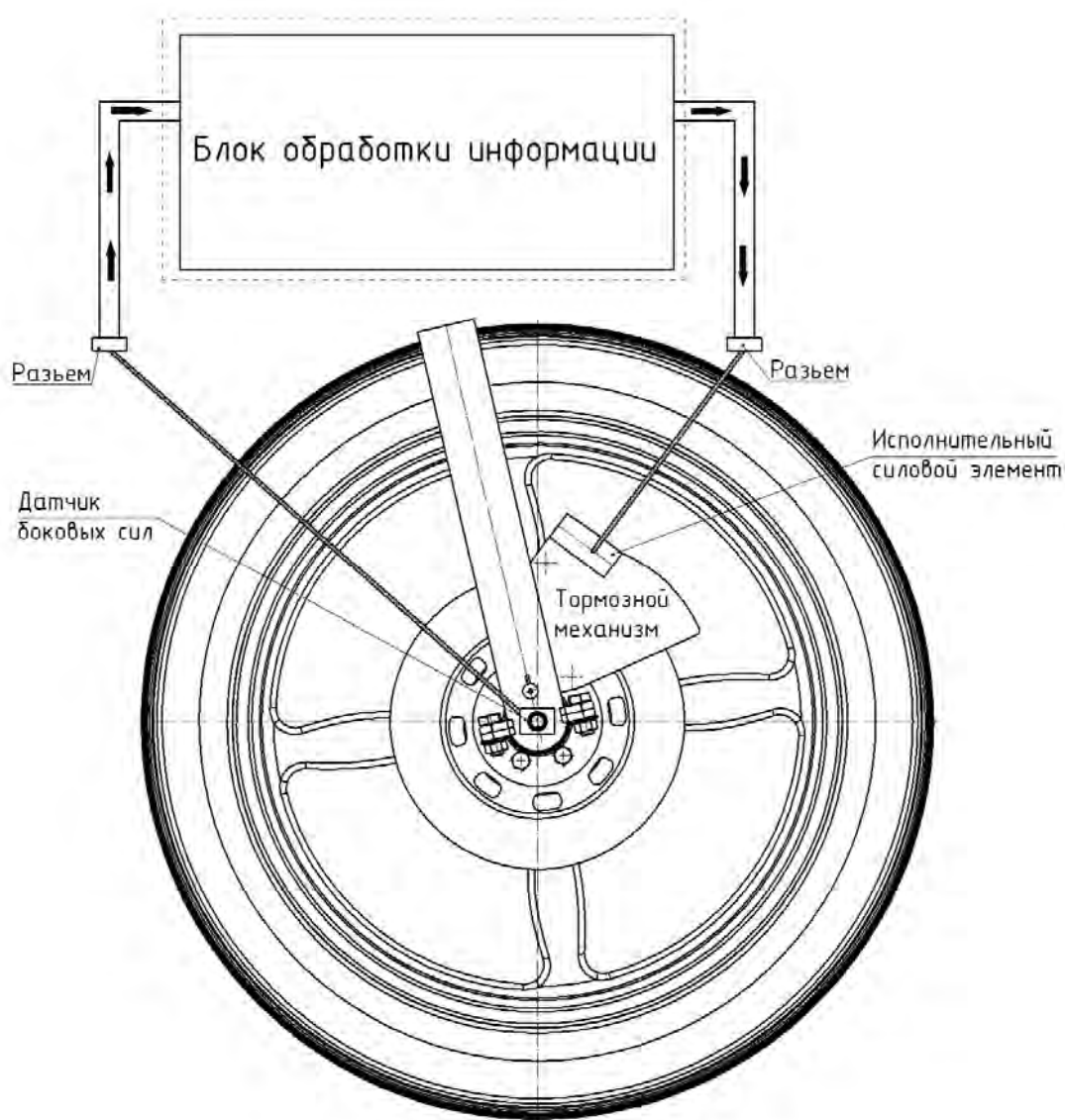


Рис. 7. Электронно-механическая САБ на основе анализа силовых параметров при управлении процессом торможения

Создание САБ, функционирующих на силовом анализе, – перспективное направление развития. В данном случае критерием управления САБ является изменение силовых факторов в пятне контакта колеса с опорной поверхностью, что дает возможность создавать адаптивные САБ, позволяющие повысить безопасность движения и конкурентоспособность мобильных машин, использующих разработанные САБ. Учитывая рассмотренную проблему повышения безопасности движения, были

разработаны: алгоритм управления; методика проектирования; конструктивное решение системы активной безопасности, работающей на силовом анализе; тормозное устройство, адаптивное к системе активной безопасности.

Разработанная система активной безопасности в качестве критерия принятия решения в алгоритме обработки информации использует силовые факторы, действующие в пятне контакта колеса с опорной поверхностью. Созданная конструкция обладает возмож-

ностью адаптации к любому типу привода тормозной системы, в том числе к механическому приводу. Система активной безопасности обладает патентной чистотой конструкции, технологичностью в производстве, высокой ремон-

топригодностью, простотой в обслуживании, меньшей стоимостью в изготовлении по сравнению с существующими и получившими наибольшее распространение электронно-гидравлическими САБ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тормозные системы колесных машин / И. С. Сазонов [и др.] ; под общ. ред. И. С. Сазонова. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2011. – 346 с. : ил.
2. **Осепчугов, В. В.** Автомобиль. Анализ конструкций, элементы расчета : учебник для студентов вузов / В. В. Осепчугов, А. К. Фрумкин. – М. : Машиностроение, 1989. – 304 с. : ил.
3. **Косенков, А. В.** Устройство тормозных систем иномарок и отечественных автомобилей / А. В. Косенков. – Ростов н/Д : Феникс, 2003. – 224 с. : ил.
4. Автомобильный справочник / Robert Bosch GmbH. : пер. с англ. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : За рулем, 2004. – 992 с. : ил.
5. **Ким, В. А.** Методология создания адаптивных САБ АТС на основе силового анализа : монография / В. А. Ким. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2003. – 346 с.
6. **Вахламов, В. К.** Автомобили: Основы конструкции : учебник для студентов вузов / В. К. Вахламов. – М. : Академия, 2004. – 528 с.
7. **Пат. 4778 ВУ, МПК В 60Т 8/00.** Механическая антиблокировочная система / А. С. Мельников [и др.] ; заявитель и патентообладатель Белорус.-Рос. ун-т. – № 20041020 ; заявл. 11.08.04 ; опубл. 20.05.07, Бюл. № 14. – 5 с. : ил.
8. **Мельников, А. С.** Механическая антиблокировочная система двухколесного мотоцикла / А. С. Мельников, И. С. Сазонов, В. А. Ким // Автомобильная промышленность. – 2010. – № 11. – С. 28–30.
9. **Мельников, А. С.** Системы активной безопасности двухколесных транспортных средств / А. С. Мельников, И. С. Сазонов, В. А. Ким // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2010. – № 2. – С. 15–20.
10. **Мельников, А. С.** Современные системы активной безопасности двухколесных транспортных средств / А. С. Мельников, И. С. Сазонов, В. А. Ким // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2010. – Ч. 1. – С. 3–10.
11. **Мельников, А. С.** Механическая антиблокировочная система двухколесного мотоцикла / А. С. Мельников, И. С. Сазонов, В. А. Ким // Автомобильная промышленность. – 2011. – № 7. – С. 10–12.

Статья сдана в редакцию 21 апреля 2014 года

Игорь Сергеевич Сазонов, д-р техн. наук, проф., Белорусско-Российский университет.
E-mail: f_av@bru.mogilev.by

Михаил Леонидович Петренко, аспирант, Белорусско-Российский университет.

Александр Сергеевич Мельников, канд. техн. наук, доц., Белорусско-Российский университет.
E-mail: f_av@bru.mogilev.by

Ольга Валерьевна Билык, канд. техн. наук, доц., Белорусско-Российский университет.
E-mail: f_av@bru.mogilev.by

Александр Владимирович Юшкевич, аспирант, Белорусско-Российский университет.

Петр Адамович Амелченко, д-р техн. наук, проф., Национальная академия наук Беларуси.

Igor Sergeyevich Sazonov, DSc (Engineering), Prof., Belarusian-Russian University.
E-mail: f_av@bru.mogilev.by.

Mikhail Leonidovich Petrenko, PhD student, Belarusian-Russian University.

Aleksandr Sergeyevich Melnikov, PhD (Engineering), Associate Prof., Belarusian-Russian University.
E-mail: f_av@bru.mogilev.by

Olga Valeryevna Bilyk, PhD (Engineering), Associate Prof., Belarusian-Russian University.
E-mail: f_av@bru.mogilev.by

Aleksandr Vladimirovich Yushkevich, PhD student, Belarusian-Russian University.

Petr Adamovich Amelchenko, DSc (Engineering), Prof., National Academy of Sciences of Belarus.