

УДК 629.113

А. С. Мельников, И. С. Сазонов, В. А. Ким, Д. В. Иванькин

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ АНТИБЛОКИРОВОЧНОЙ СИСТЕМЫ, АДАПТИВНОЙ К МЕХАНИЧЕСКОМУ ПРИВОДУ

UDC 629.113

A. S. Melnikov, I. S. Sazonov, V. A. Kim, D. V. Ivankin

EXPERIMENTAL INSTALLATION FOR TESTING ANTI-LOCK BRAKING SYSTEM ADAPTIVE TO THE MECHANICAL ACTUATOR

Аннотация

В статье рассматривается разработанная экспериментальная установка, предназначенная для испытания антиблокировочной системы, использующей в качестве критерия управления значения боковых сил, возникающих в контакте колеса с опорной поверхностью, и адаптивной к дисковому тормозу с механическим приводом. Экспериментальная установка позволяет провести стендовые испытания разработанной антиблокировочной системы, имитируя условия движения колеса, соответствующие реальным условиям движения, и может быть использована для испытания различных тормозных механизмов и антиблокировочных систем, а также в учебном процессе.

Ключевые слова:

алгоритм управления, источники информации, антиблокировочная система, критерий управления, боковые силы, контакт колеса с опорной поверхностью, экспериментальная установка.

Abstract

The paper considers the experimental installation designed for testing the anti-lock braking system using the values of lateral forces, generated through the contact of the wheel with the bearing surface as a control criterion and adaptive to the disk brake with the mechanical actuator. The experimental installation allows performing development tests of the devised anti-lock braking system by imitating the conditions of wheel motion corresponding to actual driving conditions and it may be used for testing different brake mechanisms and anti-lock braking systems and, also, in training.

Key words:

control algorithm, sources of information, anti-lock braking system, control criterion, lateral forces, contact of wheel with bearing surface, experimental installation.

Введение

Как известно, большинство систем управления торможением мобильных машин используют три наиболее известных принципа 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 коэффици-

енту относительного скольжения контакта колеса (градиентный метод) [1–3, 8, 11, 14, 18]. При этом источником первичной информации является кинематический параметр вращения колеса, а исполнительным механизмом – модулятор, включенный в тормозной привод.

Главная сложность реализации алгоритмов, используемых антиблокировочной системой (АБС) двухколесных мотоциклов, связана с определением линейной скорости V_a движения остова

мотоцикла, которая чаще всего рассчитывается путем осреднения угловых скоростей колес мотоцикла. И в настоящее время эта проблема все еще остается нерешенной. Усовершенствования используемых АБС связаны именно с определением скорости поступательного движения остова мотоцикла.

При широком диапазоне изменения коэффициента сцепления обеспечить устойчивость мотоцикла, из-за не точности определения скорости остова мотоцикла, практически не представляется возможным.

Недостаток рассмотренных методов управления АБС обусловлен еще и тем, что ни проскальзывание, ни замедление колеса не несут достаточной информационной нагрузки, необходимой для определения силовых взаимосвязей в контакте колеса с дорогой [2–4, 6, 12, 13]. В современных АБС традиционно производят измерение скорости (ускорения) колеса и ее производных, а вычисление производных от кинематических параметров по времени выше первой, как известно, уже представляет собой сложную техническую задачу.

Необходимо также отметить, что формальный порядок производных от сил выше производных от кинематических параметров. Так, первая производная от силы формально эквивалентна третьей производной от кинематического параметра, а вторая производная от силы формально эквивалентна четвертой производной от обобщенной координаты и т. д.

Как видно из вышеизложенного, общими недостатками современных АБС являются сложность обработки информации, сложность конструкции, связанная с изготовлением перфоратора и используемой проводкой, невозможность получения линейной характеристики датчика. Наиболее серьезный недостаток датчиков кинематических параметров – низкая информативность, за-

ключающаяся в том, что информация не позволяет производить точные расчеты по определению силовых факторов в контакте колеса с опорной поверхностью или косвенных параметров, например, коэффициентов сцепления колес.

Кроме того, необходимо отметить, что бортовая сеть транспортного средства является значительным источником электрических и радиопомех. Перенапряжения, возникающие в бортовой сети при работе системы зажигания, могут достигать нескольких десятков вольт обеих полярностей относительно массы. Причем эти явления усугубляются, например, при нарушениях контакта аккумуляторной батареи или при сильной разряженности. В зависимости от состояния батареи, регулятора напряжения, а также режима движения питающее напряжение колеблется в больших пределах. Все это приводит к искажению первичной информации. Более того, характеристики датчиков обладают выраженной нелинейностью в рабочем диапазоне, что оказывает существенное влияние на формирование сигналов управления. Поэтому появление систем, в которых непосредственно измеряются силовые факторы, вполне закономерно. Например, в АБС фирмы «Даймлер-Бенц АГ» [14–16] используются датчики измерения усилий в опоре тормозной колодки, установленные горизонтально между колесом и шасси транспортного средства.

**Экспериментальная установка
для испытания антиблокировочной
системы, адаптивной
к механическому приводу**

Основными недостатками используемых источников первичной информации являются сложность получения информации и низкая информативность для построения эффективных алгоритмов управления движением колесных машин. Конструктивная сложность ис-

полнения перфоратора (ротора) также является одним из его недостатков.

Стремление производителей систем активной безопасности двухколесных транспортных средств повысить эффективность вынуждает искать новые источники первичной информации. Используемые источники информации систем активной безопасности стали неявным препятствием на пути становления совершенных систем автоматического управления движением двухколесных машин.

Поэтому использование параметров регулирования, дающих непосредственную информацию о коэффициенте $\varphi_{сц}$, является очевидным.

Из анализа изменений реализуемых моментов при экстренном и служебном торможении видно, что принцип формирования сигналов управления торможением может строиться на основе отрицательного знака производной тормозного момента или по максимуму тормозного момента. Принцип форми-

рования сигналов управления исполнительными механизмами тормозов на основе отрицательного знака производной, фактически реализуемого колесом момента, доказан стендовыми и натурными испытаниями устройств измерения тормозного момента. Результаты экспериментальных исследований подтверждают, что регулярная закономерность изменения тормозного момента не зависит от характера опорной поверхности.

Натурные испытания устройств измерения тормозных моментов производились по различным опорным поверхностям (асфальт, мокрый асфальт, уплотненный снежный покров, гололед) с различными скоростями начала торможения [1, 14]. Результаты показали, что при экстренном торможении четко наблюдается изменение знаков производных тормозных моментов, фактически реализуемых колесами машины (рис. 1).

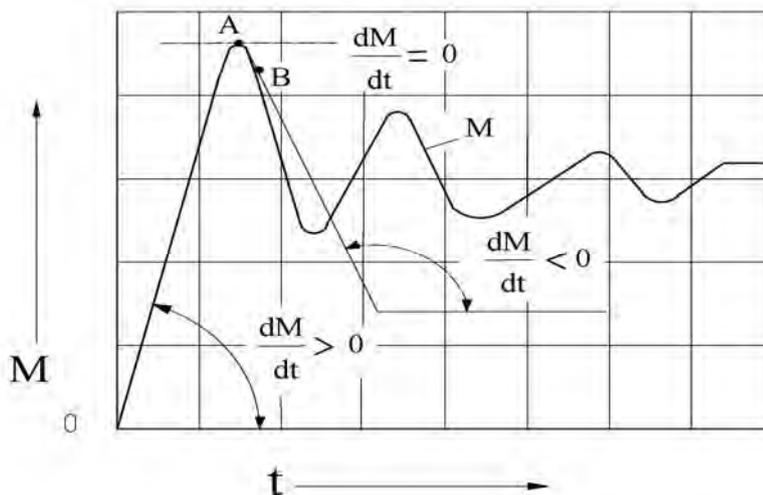


Рис. 1. Схематизированное представление изменения тормозного момента, фактически реализуемого колесом

При использовании в качестве критерия управления максимум тормозного момента необходимо вначале установить характер изменения тормозного момента

на участке АВ (см. рис. 1), т. е. должно наблюдаться уменьшение абсолютной величины производной момента на участке нарастания, и только тогда формиру-

ется сигнал управления исполнительными механизмами тормозов.

Для понимания принципа на рис. 1 дано схематизированное представление изменения знаков производных тормозных моментов при экстренном торможении.

Установление регулярной закономерности изменения знаков производной тормозного момента позволило сформулировать принцип формирования сигналов управления торможением, заключающийся в том, что критерием формирования сигналов управления является отрицательный знак производной от тормозного момента.

Таким образом, наиболее перспективным является направление, которое реализует системы управления торможением мобильных машин на основе силового регулирования. В данном случае, как отмечалось, регулирование может осуществляться либо по максимальному значению тормозного момента, либо по знаку производной. Для двухколесного транспортного средства (авторами рассматривалось именно двухколесное средство) повышение устойчивости движения и уменьшение вероятности опрокидывания являются очень важными задачами при процессе торможения [12, 17]. В связи с этим изучалась возможность использования в качестве критерия для управления антиблокировочной системой значений боковых сил, возникающих в пятне контакта колеса с опорной поверхностью. Известно, что при возникновении блокирования колеса при торможении и скольжении по опорной поверхности значения боковых сил возрастают, увеличивая риск опрокидывания двухколесного транспортного средства [5, 7, 9, 10, 17]. Были разработаны алгоритм управления антиблокировочной системой, конструкция антиблокировочной

системы двухколесного транспортного средства, использующая в качестве критерия управления значения боковых сил в контакте колеса с опорной поверхностью, создан макетный образец системы. При этом решалась другая задача – обеспечение адаптивности антиблокировочной системы, имеющей в качестве критерия управления значения боковых сил в контакте колеса с опорной поверхностью к дисковому тормозу с механическим приводом, что немаловажно, т. к. электронно-гидравлические системы управления торможением достаточно сложны и дорого стоят, поэтому сдерживается их широкое применение на мобильных машинах и, в частности, на двухколесных.

С учетом сформулированного принципа управления, основанного на анализе силовых факторов, разработана механическая антиблокировочная система двухколесного мотоцикла (рис. 2 и 3). В основу работы антиблокировочной системы положен принцип анализа боковых сил, возникающих в контакте колеса с опорной поверхностью.

Разработанная антиблокировочная система является адаптивной к дисковому тормозному механизму, имеющему механический привод. Она, согласно патенту ВУ № 4778 МПК В 60 Т 8 / 00, содержит несколько основных элементов: датчики боковых сил, блок контроля сигналов датчиков, блок включения силовой цепи, исполнительный элемент. Нажимное устройство тормозного механизма, являясь элементом тормоза, также входит в состав антиблокировочной системы. Взаимная интеграция нажимного устройства тормозного механизма и антиблокировочной системы обусловлена их совместной работой в процессе функционирования тормозной системы.

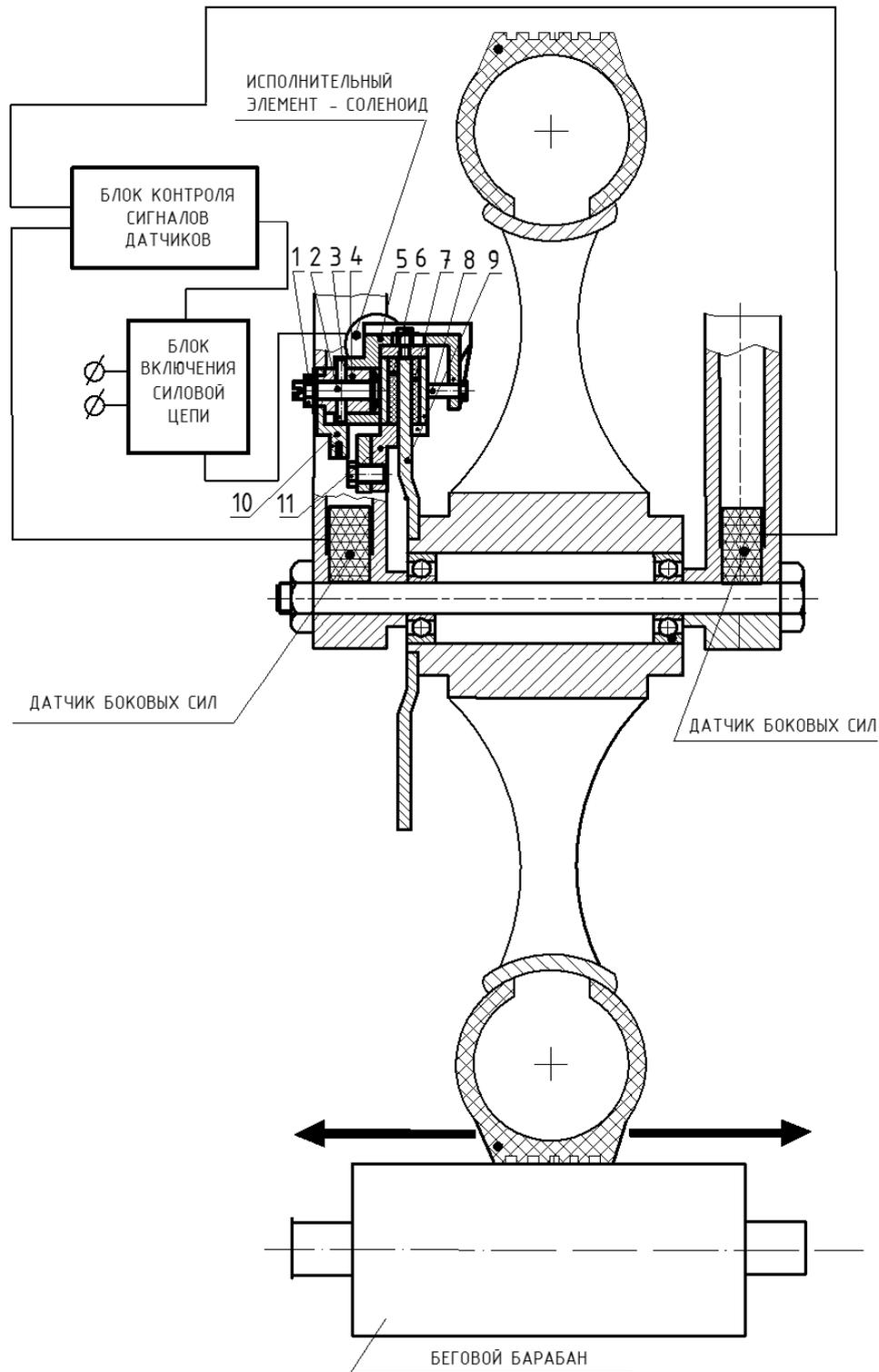


Рис. 2. Схема элементов антиблокировочной системы и экспериментальной установки для испытаний: 1 – гайка; 2 – винт; 3 – штифт; 4 – цилиндр; 5 – скоба; 6 – колодка тормозная левая; 7 – колодка тормозная правая; 8 – винт; 9 – диск тормозной; 10 – рычаг; 11 – болт

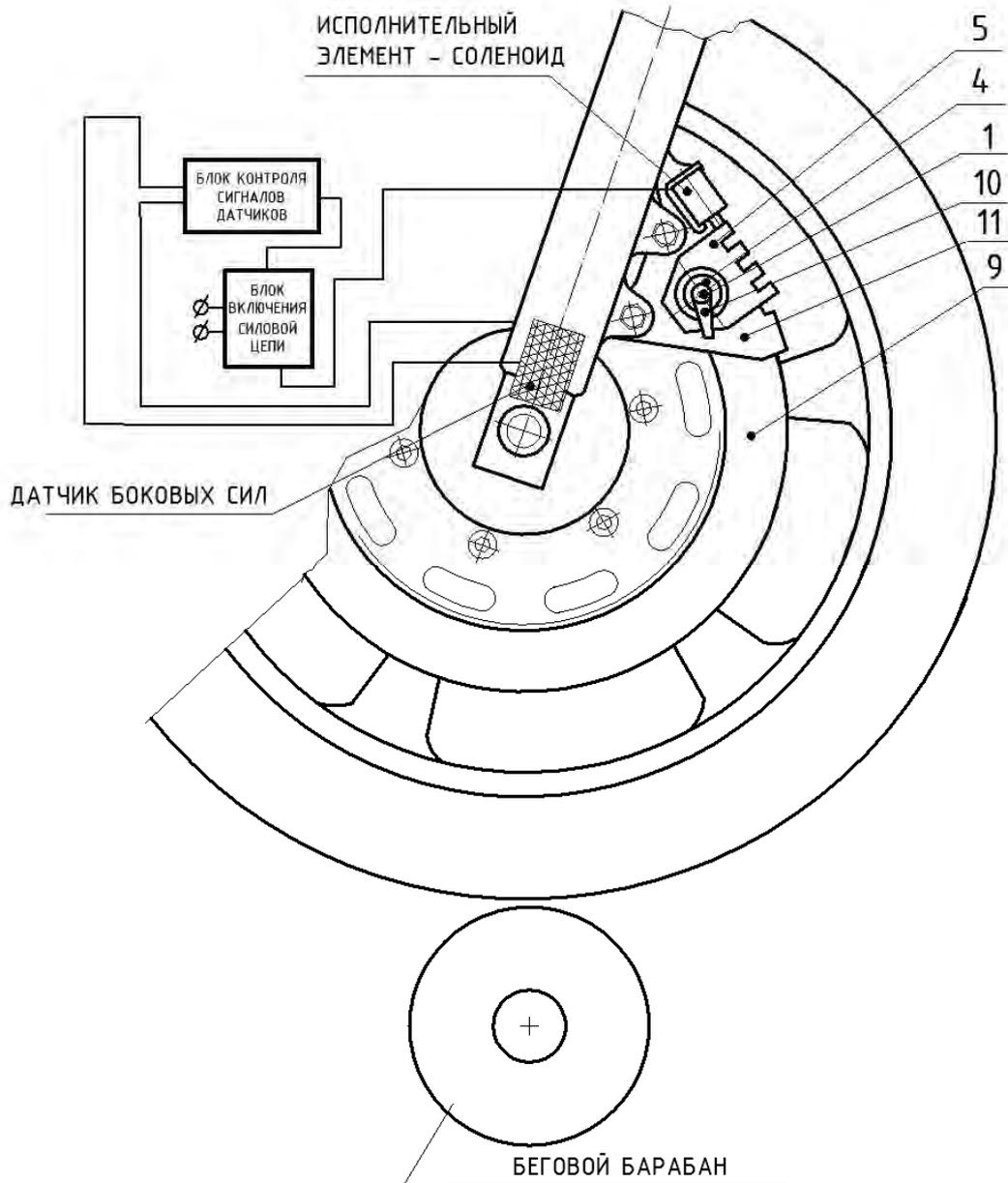


Рис. 3. Схема элементов антиблокировочной системы и экспериментальной установки для испытаний, вид сбоку: 1 – привод установки; 2 – пульт управления приводом; 3 – маховая масса; 4 – колесо; 5 – блок включения силовой цепи; 6 – блок измерения сигналов от датчиков боковых сил; 7 – блок преобразования сигналов; 8 – устройство отображения информации; 9 – исполнительный элемент; 10 – тормозная скоба; 11 – датчик величины тормозного момента; 12 – датчик усилия, приложенного к приводному рычагу; 13 – рычаг управления; 14 – кронштейн направляющий; 15 – шарнир; 16 – датчик угловой скорости; 17 – нагружающее устройство

Исполнительный элемент конструктивно связан с нажимным устройством и позволяет уменьшать усилия, с которыми тормозные колодки прижимаются к тормозному диску в процессе торможения. При возникновении условий, ведущих к блокированию тормозящего колеса, исполнительный элемент уменьшает усилия прижатия тормозных колодок к тормозному диску, разблокируя тем самым тормозящее колесо и обеспечивая безюзовое торможение колеса и устойчивое движение в процессе торможения. Блок контроля сигналов от датчиков боковых сил обеспечивает срабатывание исполнительного элемента, разблокирующего тормозящее колесо, при фиксации контроллером значения боковой силы, соответствующего условиям потери устойчивости и блокирования тормозящего колеса в процессе торможения.

Работа антиблокировочной системы не требует характерных для электронно-гидравлических антиблокировочных систем гидравлических насосов, а также присущих им модулятора давления тормозной жидкости, электронного блока управления, датчиков частоты вращения колес, гидравлического привода, включающего главный тормозной цилиндр, трубопроводы и исполнительные гидравлические колесные тормозные цилиндры.

Отсутствие дорогостоящих и сложных элементов, характерных для электронно-гидравлических антиблокировочных систем, позволяет говорить о разработанной антиблокировочной системе, как о надежной системе, имеющей в несколько раз меньшую стоимость по сравнению с электронно-гидравлическими антиблокировочными системами.

Стенд для испытаний антиблокировочной системы (рис. 4) представляет собой рамную конструкцию, расположенную над маховой массой. Он содержит неподвижно установленную раму. В продольной балке рамы прорезано окно, в которое проходит колесо двух-

колесного транспортного средства. В верхней части стенда располагается шарнирный узел, с помощью которого подвижная балка соединяется с неподвижной рамой.

Подвижная балка имитирует переднюю вилку мотоцикла и имеет паз для размещения колеса мотоцикла. На подвижной балке размещены опорные узлы, с помощью которых закрепляется ось колеса.

При общей сборке обращалось внимание на сохранение подвижности направляющих элементов, при этом обеспечивалась фиксация шины колеса на беговой поверхности маховой массы.

Стенд для испытания антиблокировочной системы включает маховую массу 3, установленную на опорах. Маховая масса работает от электрического привода установки 1.

Выбор режимов работы установки осуществляется с помощью пульта управления стендом 2. Колесо 4 опирается на маховую массу 3. Ось колеса 4 закреплена на кронштейне направляющем 14. С помощью нагружающего устройства 17 варьируется величина вертикальной нагрузки, приходящейся на колесо 4.

Разработанный стенд позволяет проводить испытания антиблокировочных систем, фиксируя величину тормозного момента, боковых сил и величину вертикального нагружения колеса.

Исходя из компоновочной схемы стенда для испытания антиблокировочной системы разрабатывались элементы стенда, выполняющие одновременно функции направляющих и фиксирующих элементов.

Сформулированы требования к направляющим и фиксирующим элементам стенда. Элементы должны обеспечивать свободное вращение колеса транспортного средства, возможность вертикальных перемещений колеса, установленного на испытательный стенд, возможность нагружения колеса для имитации веса, приходящегося на данное ко-

лесо транспортного средства, а также возможность для размещения антиблокировочной системы, тормозных меха-

низмов и датчиков, позволяющих получить информацию о силах, возникающих в механизмах тормозной системы.

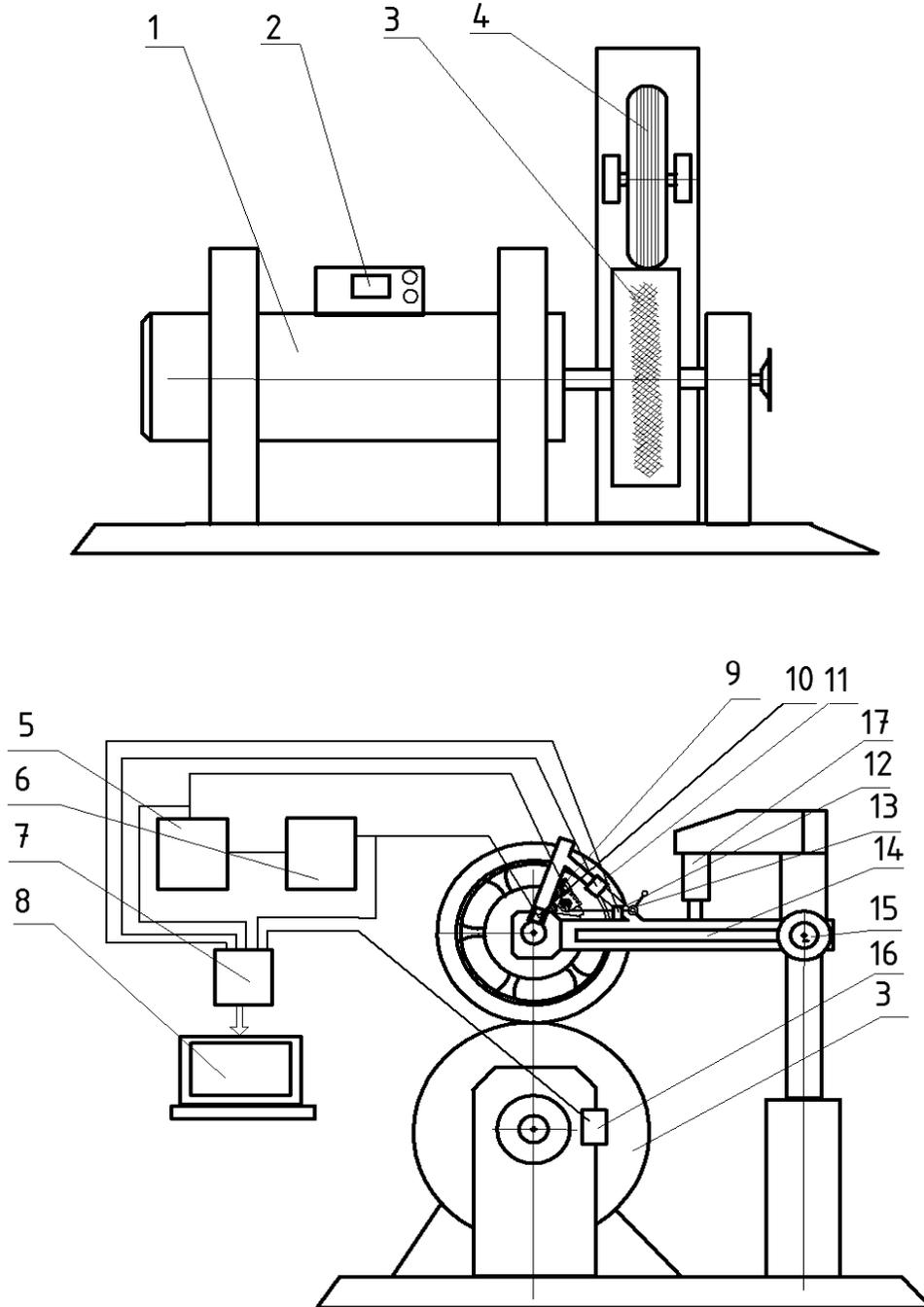


Рис. 4. Стенд для испытаний антиблокировочной системы: 1 – привод установки; 2 – пульт управления приводом; 3 – маяговая масса; 4 – колесо; 5 – блок включения силовой цепи; 6 – блок измерения сигналов от датчиков боковых сил; 7 – блок преобразования сигналов; 8 – устройство отображения информации; 9 – исполнительный элемент; 10 – тормозная скоба; 11 – датчик величины тормозного момента; 12 – датчик усилия, приложенного к приводному рычагу; 13 – рычаг управления; 14 – кронштейн направляющий; 15 – шарнир; 16 – датчик угловой скорости; 17 – нагружающее устройство

С учетом этих требований выбиралась конструкция элементов. Таким образом, конструкция представляет собой шарнирно сочлененные балки, одна из которых является опорной. С опорной балкой шарнирно сочленена подвижная балка, на которой размещены опорные узлы, позволяющие закрепить ось колеса двухколесного транспортного средства. Опорная и подвижная балки в поперечном сечении имеют форму швеллера; опорная балка соответствует швеллеру № 20П, подвижная балка – швеллеру № 18П.

В качестве фиксирующего элемента стэнда используется шарнирный узел, соединяющий подвижную балку стэнда с неподвижной частью рамы стэнда. Фиксирующий элемент предназначен для предотвращения соскальзывания колеса, установленного на стэнд, с маховой массы стэнда. При этом фиксирующий элемент позволяет перемещаться колесу вместе с подвижной балкой в вертикальном направлении.

Подвижная балка стэнда имеет конструкцию, с помощью которой можно разместить устройство для вертикального нагружения колеса, позволяющего имитировать различную величину вертикальной нагрузки, приходящейся на колесо при реальных условиях эксплуатации. Монтаж фиксирующих элементов стэнда производится после сборки и закрепления неподвижной части рамы стэнда. При монтаже проверяется возможность свободного перемещения подвижной балки стэнда, обеспечивается минимальный люфт в узлах крепления колеса, а также минимальное смещение колеса относительно поверхности контакта колеса и маховой массы стэнда. Для обеспечения указанных требований разработана конструкция шарнирного узла стэнда. Это втулочно-пальцевая конструкция, в которой предусмотрена возможность регулирования взаимного положения входящих в нее конструктивных элементов.

Регулирование взаимного положения элементов втулочно-пальцевого уз-

ла позволяет обеспечивать фиксированное положение колеса относительно поверхности контакта с маховой массой.

Для осуществления контроля за параметрами антиблокировочной системы во время испытания в качестве датчиков силы выбраны тензодатчики МЛС. Такой тип тензодатчиков позволяет контролировать величину тормозного момента и величину прикладываемого приводного усилия. В трубах передней вилки двухколесного транспортного средства размещены измерительные устройства, с помощью которых можно получать информацию о величине боковых сил, возникающих в контакте колеса с опорной поверхностью.

Алгоритм работы измеряющих устройств и исполнительных элементов представлен на рис. 5.

Монтаж направляющих элементов стэнда производится после согласования посадочных поверхностей шарнирного узла, подвижной балки и неподвижного элемента стэнда. Соединение последних осуществляется с помощью оси. При этом должна быть обеспечена возможность перемещения подвижной части стэнда вместе с колесом в радиальном направлении.

Помимо прочего, направляющие элементы предназначены для удержания колеса на поверхности маховой массы стэнда в заданном положении и для обеспечения свободного вращения колеса вокруг своей оси.

В ходе сборки направляющих элементов производилась проверка функционирования собранных узлов стэнда, т. е. проверялась возможность создания усилий, прижимающих колесо к беговой поверхности маховой массы, возможность вертикальных перемещений колеса и обеспечение вращения колеса без люфтовых перемещений относительно плоскости маховой массы.

Подготовка стэнда к проведению испытаний осуществляется в несколько этапов. На первом этапе проводится сборка отдельных узлов стэнда, проверяется возможность их функционирования.

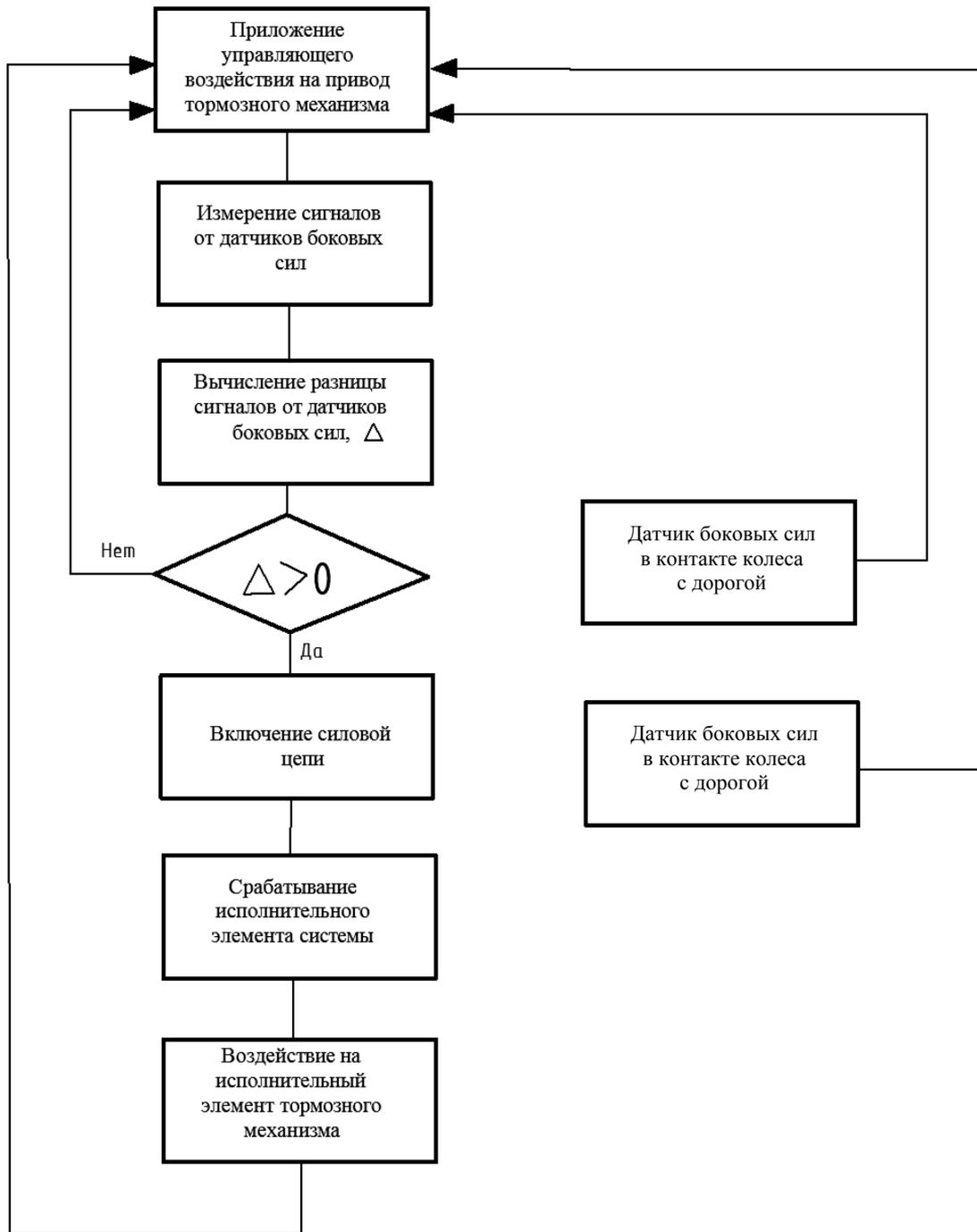


Рис. 5. Алгоритм работы измеряющих устройств и исполнительных элементов

В ходе сборки отдельных узлов испытательного стенда проводится регулировка зазоров в сопрягаемых деталях для обеспечения необходимого взаимного расположения в общей конструкции. На втором этапе подготовки стенда к испытаниям проводится общая сборка стенда, отдельные узлы размещаются на общей конструкции стенда.

При общей сборке обращается внимание на сохранение подвижности направляющих элементов, а также на обеспечение фиксации шины колеса на беговой поверхности маховой массы.

Выводы

Проведенные исследования, в ходе которых были разработаны методы проектирования систем активной безопасности мобильных машин, позволили создать систему активной безопасности двухколесного транспортного средства, в основу принципа управления которой положены закономерности изменения силовых факторов в контакте колес с опорной поверхностью. Разработанная антиблокировочная система использует в качестве критерия управления значения боковых сил, возникающих в контакте колеса с опорной поверхностью.

Кроме этого, система адаптивна к дисковому тормозу с механическим приводом. Для изучения процесса торможения двухколесного транспортного средства, оснащенного антиблокировочной системой, использующей в качестве критерия управления значения боковых сил, возникающих в контакте колеса с опорной поверхностью, разработана экспериментальная установка, позволяющая провести стендовые испытания разработанной антиблокировочной системы, адаптивной к дисковому тормозу с механическим приводом; при этом имитируются условия движения колеса в реальных условиях движения. Конструкция экспериментальной установки позволяет разместить колесо двухколесного транспортного средства, оснащенное антиблокировочной системой, а также измерительные, преобразовывающие и фиксирующие приборы, необходимые для проведения экспериментальных исследований. Экспериментальная установка может применяться для испытания различных тормозных механизмов и антиблокировочных систем, использоваться в учебном процессе для подготовки студентов, магистрантов и аспирантов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сазонов, И. С. Динамика колесных машин / И. С. Сазонов, П. А. Амельченко, В. А. Ким. – Могилев : Беларус.-Рос. ун-т, 2006. – 461 с.
2. Пат. 2299140 РФ, МКИ⁶ В 60 Т С 1. Способ регулирования торможением автопоезда / И. С. Сазонов [и др.] ; заявитель и патентообладатель Беларус.-Рос. ун-т. – № 2005132206/11 ; заявл. 18.10.05 ; опубл. 20.05.07, Бюл. № 14. – 5 с. : ил.
3. Пат. 9589 ВУ, МПК В 60 Т 8 / 00 С 1. Способ регулирования торможением автопоезда / И. С. Сазонов [и др.] ; заявитель и патентообладатель Беларус.-Рос. ун-т. – № 20041020 ; заявл. 11.08.04 ; опубл. 20.05.07, Бюл. № 14. – 5 с. : ил.
4. Александров, М. П. Тормозные устройства в машиностроении / М. П. Александров. – М. : Машиностроение, 1965. – 550 с.
5. Алексеев, Г. Ф. О трении и износе фрикционных пар при вибрационных нагрузках / Г. Ф. Алексеев // Теоретические и прикладные задачи трения износа и смазки машин. – 1982. – № 25. – С. 8–15.
6. Бухарин, Н. А. Тормозные системы автомобилей / Н. А. Бухарин. – М. : Машгиз, 1950. – 130 с.
7. Мамити, Г. И. Проектирование тормозов автомобилей и мотоциклов / Г. И. Мамити. – Минск : Дизайн ПРО, 1997. – 111 с.
8. Нефедьев, Я. Н. Конструкции и характеристики электронных антиблокировочных систем зарубежных фирм / Я. Н. Нефедьев. – М. : НИИАВТОПРОМ, 1979. – 60 с.
9. Галай, Э. И. Повышение эффективности электропневматических тормозов поезда / Э. И. Галай. – Гомель : БелГУТ, 2002. – 182 с.

10. **Кутьков, Г. М.** Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства / Г. М. Кутьков. – М. : КолосС, 2004. – 504 с.
11. **Высоцкий, М. С.** Мехатронные системы активной безопасности мобильных машин / М. С. Высоцкий, В. Г. Бутылин, В. Г. Иванов // Актуальные проблемы динамики и прочности в теоретической и практической механике : сб. тр. – Минск, 2001. – С. 107–118.
12. **Вонг, Дж.** Теория наземных транспортных средств / Дж. Вонг. – М. : Машиностроение, 1982. – 282 с.
13. **Фрумкин, А. К.** Современные антиблокировочные и противобуксовочные системы грузовых автомобилей, автобусов и прицепов : обзорная информация / А. К. Фрумкин, А. И. Попов, И. И. Апышев. – М. : ЦНИИТЭИ-автопром, 1990. – 56 с.
14. **Ким, В. А.** Методология создания адаптивных САБ АТС на основе силового анализа : монография / В. А. Ким. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2003. – 346 с.
15. **Forster, H.-J.** Der Fahrzeugfuhrer als Bindeglied zwischen Reifen, Fahrwerk und Fahrbahn / H.-J. Forster. – Berichte : VDI, 1991. – 916 p.
16. **Habib, M.** Lateral motion control for intelligent transport system / M. Habib, G. Auda // Proc. of AVEC Conference. – 1998. – № 9. – P. 375–381.
17. **Беляев, В. М.** Проектирование тормозных систем автомобиля. Ч. 1 : Тормозная динамика автомобиля. Тормозные механизмы / В. М. Беляев, В. Г. Иванов, Л. А. Молибошко. – Минск : БГПА, 2000. – 47 с.
18. **Пат. 1296494 Великобритания, МКИ 60 Т 8 / 00.** Antiskid braking systems / Daimler-Benz AG (ФРГ). – № 95742105 ; заявл. 01.03.70 ; опубл. 21.03.72. – 18 с. : ил.

LIST OF LITERATURE

1. **Sazonov, I. S.** Dynamics of wheeled vehicles / I. S. Sazonov, P. A. Amelchenko, V. A. Kim. – Mogilev : Belarus.-Rus. Un-ty, 2006. – 461 p.
2. **Pat. 2299140 RF, МКИ⁶ V 60 Т С 1.** Technique of controlling the road train braking / I. S. Sazonov [etc.] ; applicant and patent holder Belarus.-Rus. Un-ty. – № 2005132206/11 ; appl. 18.10.05 ; publ. 20.05.07, Bul. № 14. – 5 p. : il.
3. **Pat. 9589 BY, МПК V 60 Т 8 / 00 С 1.** Technique of controlling the road train braking / I. S. Sazonov [etc.] ; applicant and patent holder Belarus.-Rus. Un-ty. – № 20041020 ; appl. 11.08.04 ; publ. 20.05.07, Bul. № 14. – 5 p. : il.
4. **Aleksandrov, M. R.** Braking devices in machine-building / M. R. Aleksandrov. – M. : Mashinostroenie, 1965. – 550 p.
5. **Alekseyev, G. F.** On friction and wear of friction couples under vibration loads / G. F. Alekseyev // Theoretical and applied problems of wear friction and equipment lubrication. – 1982. – № 25. – P. 8–15.
6. **Bukharin, N. A.** Braking systems of vehicles / N. A. Bukharin. – M. : Mashgiz, 1950. – 130 p.
7. **Mamiti, G. I.** Design of motor car and motorcycle brakes / G. I. Mamiti. – Minsk : Dizain PRO, 1997. – 111 p.
8. **Nefedyev, Y. N.** Designs and characteristics of electronic antilock braking systems of foreign make / Y. N. Nefedyev – M. : NIIАВТОПРОМ, 1979. – 60 p.
9. **Galai, E. I.** Increase of the efficiency of electro-pneumatic train brakes / E. I. Galai. – Gomel : BelGUT, 2002. – 182 p.
10. **Kutkov, G. M.** Tractors and automobiles. Theory and technological properties / G. M. Kutkov. – M. : KolosS, 2004. – 504 p.
11. **Vysotsky, M. S.** Mechatronic systems of active safety of mobile machinery / M. S. Vysotsky, V. G. Butylin, V. G. Ivanov // Actual problems of dynamics and strength in theoretical and applied mechanics : proc. – Minsk, 2001. – P. 107–118.
12. **Wang, J.** Theory of surface vehicles / J. Wang. – M. : Mashinostroenie, 1982. – 282 p.
13. **Frumkin, A. K.** Modern anti-lock braking and traction control systems of trucks, buses and trailers : Review information / A. K. Frumkin, A. I. Popov, I. I. Apshev. – M. : CNIITEI-avtoprom, 1990. – 56 p.
14. **Kim, V. A.** Methodology of developing adaptive systems of active safety (SAS) of vehicles based on force analysis : monograph / V. A. Kim. – Mogilev : Belarus.-Rus. Un-ty, 2003. – 346 p.
15. **Forster, H.-J.** Der Fahrzeugfuhrer als Bindeglied zwischen Reifen, Fahrwerk und Fahrbahn / H.-J. Forster. – Berichte : VDI, 1991. – 916 p.
16. **Habib, M.** Lateral motion control for intelligent transport system / M. Habib, G. Auda // Proc. of AVEC Conference. – 1998. – № 9. – P. 375–381.

17. **Belyayev, V. M.** Design of vehicle braking systems. P. 1 : Vehicle braking dynamics. Breaking mechanisms / V. M. Belyayev, V. G. Ivanov, L. A. Moliboshko. – Minsk : BGPA, 2000. – 47 p.

18. **Pat. 1296494 Great Britain, МК I 60 Т 8 / 00.** Antiskid braking systems / Daimler-Benz AG (FRG). – № 95742105 ; appl. 01.03.70 ; publ. 21.03.72. – 18 p. : il.

Статья сдана в редакцию 13 января 2012 года

Александр Сергеевич Мельников, канд. техн. наук, доц., Белорусско-Российский университет. Тел.: +375-296-95-88-06. E-mail: f_av@bru.mogilev.by.

Игорь Сергеевич Сазонов, д-р техн. наук, проф., Белорусско-Российский университет. Тел.: +375-222-26-61-00. E-mail: f_av@bru.mogilev.by.

Валерий Андреевич Ким, д-р техн. наук, проф., Белорусско-Российский университет. Тел. +375-222-26 33-71. E-mail: f_av@bru.mogilev.by.,

Денис Владимирович Иванькин, аспирант, Белорусско-Российский университет. Тел. +375-222-26-33-71. E-mail: f_av@bru.mogilev.by.

Alexander Sergeyevich Melnikov, PhD, Associate Professor, Belarusian-Russian University. Tel. +375-296-95-88-06. E-mail: f_av@bru.mogilev.by.

Igor Sergeyevich Sazonov, DSc, Professor, Belarusian-Russian University. Tel. +375-222-26-61-00. E-mail: f_av@bru.mogilev.by.

Valery Andreyevich Kim, DSc, Professor, Belarusian-Russian University. Tel. +375-222-26-33-71. E-mail: f_av@bru.mogilev.by.,

Denis Vladimirovich Ivankin, PhD student, Belarusian-Russian University. Tel. +375-222-26-33-71. E-mail: f_av@bru.mogilev.by.