

УДК 629.113

М.Л. ПЕТРЕНКО

Белорусско-Российский университет, г. Могилев

КОМПОНЕНТЫ АНТИБЛОКИРОВОЧНОЙ СИСТЕМЫ ДОРОЖНОГО МОТОЦИКЛА «МИНСК» НА ОСНОВЕ СИЛОВЫХ ФАКТОРОВ

В работе представлены результаты исследований по созданию компонент систем активной безопасности для дорожного мотоцикла «Минск», позволяющих реализацию алгоритмов управления его торможения, основанных на измерении и анализе сил, возникающих в контакте колес мотоцикла с опорной поверхностью.

Ключевые слова: мотоцикл, антиблокировочная система, процесс торможения, коэффициент сцепления, датчик, боковые силы, нормальные реакции.

Введение. Установлено, что антиблокировочная система (АБС) повышает безопасность мотоциклов, но до сих пор не является распространенным. В связи с этим можно отметить три основные причины: это класс мотоцикла, его предназначение и стоимость. Европейская комиссия в 2012 году приняла закон, согласно которому с 2016 года все мотоциклы с объемом мотора более 125 см³ должны быть оснащены АБС. Законодательство стран за пределами Евросоюза позволяет все еще производителям мотоциклов самостоятельно решать, какие модели мотоциклов оснащать АБС, а какие — нет. Все решает целевое назначение мотоцикла, сегмент рынка и ценовая категория. И еще одна причина, по которой АБС до сих пор не очень популярна на мотоциклах, это цена. Сейчас АБС обходится производителям дешевле, но она попрежнему существенно повышает стоимость мотоцикла. Кроме того, компоненты АБС увеличивают массу, искажают эстетику, с чем байкеры конечно не согласны.

О перспективах использования АБС на мотоциклах указывает то, что Индия идет по стопам Европы со своим огромным моторынком. Как известно, большая часть населения Индии ездит на мотоциклах, скутерах и мопедах. Правительство Индии хочет сделать обязательной установку антиблокировочных систем на все мотоциклы кубатурой свыше 125 см³.

Современная система активной безопасности колесных машин — это наукоемкий, высокотехнологичный продукт. К сожалению, совершенствование их алгоритмов идет по пути наращивания традиционных информационных каналов — кинематические параметры. Число датчиков измерения кинематических параметров неоправданно увеличивается, а сложность и стоимость системы управления возрастает. На наш взгляд, создание более эффективных алгоритмов системы активной безопасности автотранспортного средства (САБ АТС) необходимо основывать на более высокоинформативных источниках, чем кинематические параметры. Данной проблемой занимается лаборатория стендовых испытаний тяговой и тормозной динамики мотоциклов, созданная в Белорусско-Российском университете. Исследования ведутся более 10 лет. Созданы стенды испытаний макетных образцов систем управления торможением и тяговой динамики дорожного мотоцикла «Минск».

Общие положения. Тормозная система любого транспортного средства является гарантом его безопасности. Поэтому с момента создания автомобиля особое

внимание уделялось созданию эффективных тормозных механизмов. Однако практика эксплуатации автомобилей показала, что повышение эффективности тормозов чаще всего приводит к блокировке колеса (угловая скорость колеса равна нулю), при которой машина теряет устойчивость и управляемость. Также было установлено, что блокировка тормозящего колеса ведет к значительной скорости скольжения контакта колеса относительно опорной поверхности в продольном направлении. При скольжении, как известно, коэффициент сцепления колеса с опорной поверхностью падает (динамическое трение). Наибольшую опасность при возрастании продольного скольжения контакта колеса вызывает резкий спад коэффициента сцепления в боковом направлении колеса (рисунок 1) [2], от которого и зависит управляемость и устойчивость движения машины. Отсутствие боковой реакции опорной поверхности колеса не позволяет противодействовать моменту, отклоняющему автомобиль от его курсового движения.

Поэтому в качестве критерия формирования сигналов управления торможением автомобиля изначально

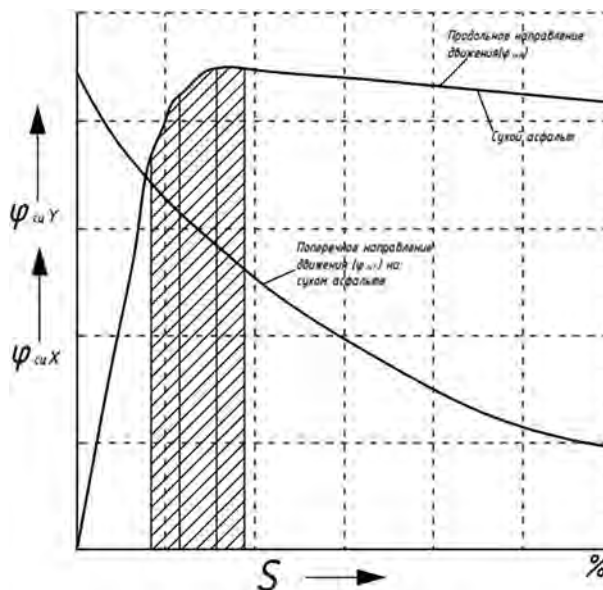


Рисунок 1 — График изменения коэффициента сцеплений тормозящего колеса с опорной поверхностью в зависимости от коэффициента относительного скольжения пятна контакта [1, 2]: S — коэффициент относительного скольжения пятна контакта; $\varphi_{сиY}$ — коэффициент сцепления в продольном направлении; $\varphi_{сиX}$ — коэффициент сцепления в поперечном направлении

был принят критерий, идентифицирующий блокировку колеса. В последующем создаются более сложные системы управления торможением автомобиля — антиблокировочные системы. Алгоритмы ABS в качестве источника первичной информации используют датчики измерения угловой скорости вращения колес и поступательной скорости движения автомобиля. На основе этих данных производят расчеты относительного скольжения контакта тормозящего колеса, осуществляя таким образом косвенную оценку коэффициента сцепления колеса в боковом направлении (см. рисунок 1).

Критерием оценки состояния сцепления колеса с опорной поверхностью является сила, возникающая в контакте колеса с дорогой, а формирование сигналов управления торможением должна осуществляться на основе измерения и анализа сил. Данный способ управления впервые разработан доктором технических наук, профессором В.А. Кимом [2].

Реализация. Мотоцикл относится к неустойчивым механическим системам. Устойчивость его движения обеспечивается гироскопическим моментом, создаваемым вращением колес (теорема Анри Эме Резаля). В мотоцикле гироскопами являются колеса, которые вращаются с довольно большой угловой скоростью. В результате чего при наклоне создается «сила» (явление прецессии), которая возвращает мотоцикл обратно в вертикальное положение.

Современные ABS мотоциклов используют алгоритмы, реализованные на автомобилях (рисунок 2).

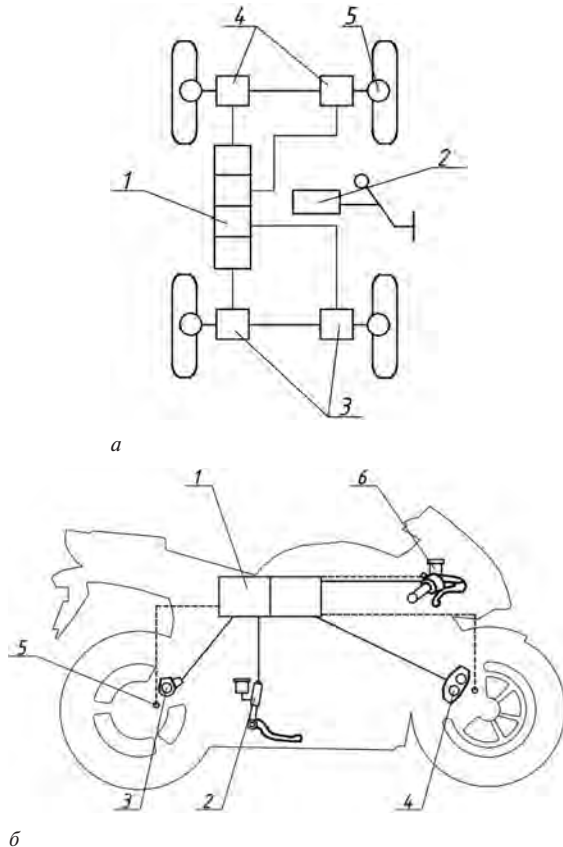


Рисунок 2 — Схемы антиблокировочных систем, реализованные на автомобилях и мотоциклах [2]: а — четырехколесное ТС; б — двухколесное ТС; 1 — электронный блок управления САБ; 2, 6 — главный тормозной цилиндр; 3 — задний рабочий тормозной цилиндр; 4 — передний рабочий тормозной цилиндр; 5 — датчик кинематических параметров колеса

Одна из главных задач ABS автомобилей — исключить его разворот при возникновении разворачивающего момента (например, при торможении автомобиля по условию «микст»).

Отметим специфическую особенность возникновения момента, разворачивающего мотоцикл при торможении. Момент, разворачивающий мотоцикл при торможении, возникает только при повороте рулевого колеса, т. е. тогда, когда мотоцикл совершает торможение по криволинейной траектории. Следовательно, такая специфика возникновения момента, разворачивающего мотоцикл, должна быть учтена при разработке алгоритма ABS мотоцикла. Таким образом, при торможении мотоцикла по прямолинейной траектории ABS может не работать, и тем самым увеличится ускорение замедления и уменьшится путь торможения.

В работе приведены технические решения, направленные на создание компонент САБ дорожного мотоцикла «Минск», реализующие алгоритмы управления, основанные на измерении и анализе силовых факторов, возникающих в контакте колес мотоцикла с опорной поверхностью [3] при торможении.

Для проведения экспериментальных исследований макетных образцов устройств измерения сил в контакте колес с опорной поверхностью мотоцикла были использованы тензодатчики фирмы «СЕНСОРИКА-М» (Россия) из нержавеющей стали.

В результате исследований [4] и дорожных испытаний на полигоне выявили потребность в исключении такого явления, как «кувырок». При разработке системы была решена задача исключения наиболее частого явления — «кувырок» водителя через руль при торможении мотоцикла и велосипеда. Современные системы ABS не решают задачу исключения «кувырка» мотоцикла. Возникновение «кувырка» связано с тем, что момент, создаваемый тормозными силами в контакте колес мотоцикла с опорной поверхностью, превышает момент, создаваемый от силы веса мотоцикла и водителя, относительно точки контакта переднего колеса. Предельное состояние разворота корпуса мотоцикла относительно контакта переднего колеса с мотоциклистом можно идентифицировать равенством нулю реакции опорной поверхности заднего колеса мотоцикла.

На основе теоретического анализа процесса торможения мотоцикла установлено условие выбора геометрических параметров мотоцикла, исключающее возникновение «кувырка» мотоцикла с мотоциклистом [4]:

Таблица — Технические данные датчиков

Материал	Нерж. сталь РН17-4
Принцип измерения	Тензодатчик с температурной компенсацией
Пределы измерения сил	$F_x, F_z = \pm 60 \text{ кН}$
Пределы измерения сил по оси Y	$F_y = \pm 30 \text{ кН}$
Точность	<0,2 % макс. пок.
Гистерезис	<0,2 % макс. пок.
Диапазон рабочих температур	от $-40 \text{ }^\circ\text{C}$ до $+105 \text{ }^\circ\text{C}$
Ударопрочность	макс. 100g
Температурный дрейф	$0,005 \text{ } \% / \text{ }^\circ\text{C}$

$$\varphi_{\text{сн}} \geq \frac{a}{H}, \quad (1)$$

где H — координата высоты центра тяжести двухколесного транспортного средства; a — расстояние от координаты оси вращения переднего колеса до координаты центра тяжести двухколесного транспортного средства по оси X .

Для создания системы управления, исключаяющего «кувырок» создано устройство восприятия нормальной и боковой реакций опорной поверхности заднего колеса мотоцикла, которые размещаются в заднем колесном узле дорожного мотоцикла «Минск» (так как на данной модели мотоцикла установлена маятниковая вилка подвески заднего колеса мотоцикла с одним амортизатором, то датчик нормальной реакции заднего колеса размещен в опоре амортизатора, а датчик боковых реакций установлен на оси вращения колеса). В устройстве восприятия нормальной и боковой реакций опорной поверхности заднего колеса размещены электронные датчики, выдающие электрический сигнал, пропорциональные нормальной и боковой реакции опорной поверхности заднего колеса мотоцикла (рисунок 3). Критериями формирования сигнала управления исполнительным механизмом (механизм разблокировки переднего тормоза) является равенство нулю нормальной реакции опорной поверхности заднего колеса мотоцикла «Минск» и отрицательный знак производной от боковой реакции по времени (боковое скольжение контакта заднего колеса).

Для отработки и подтверждения принципа измерения боковых сил и нормальных реакций с опорной поверхностью был собран испытательный стенд, на котором смонтировано переднее колесо с измерительными датчиками и разработанным механическим дисковым тормозным устройством с установленным на нем электромагнитом (рисунок 4).

Датчики на испытательном стенде [3, 5, 11] прижимаются с помощью крышек с устройством нагружения, имитирующим вес мотоцикла. При увеличении боковых сил возникает изгибающий момент на оси вращения колеса, таким образом происходит изменение величины опорных реакций в точках закрепления оси вращения колеса — создается разница величин которая фиксируется датчиками.

Боковая реакция измеряется путем определения разности значений датчиков нормальной реакции, установленных на оси вращения колеса. В результате разработки конструкции для измерения величины боковых сил в пятне контакта колеса с опорной поверхностью



Рисунок 3 — Размещение датчиков измерения боковых сил и нормальной реакции опорной поверхности дорожного мотоцикла «Минск» CX200: 1 — датчик величины боковых сил; 2 — датчик нормальной нагрузки в пятне контакта переднего колеса; 3 — датчик нормальной нагрузки в пятне контакта заднего колеса

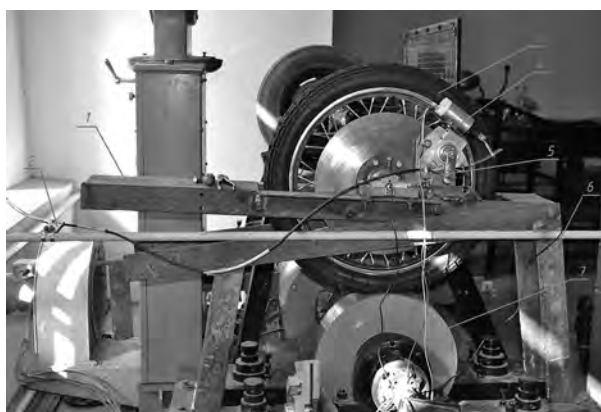


Рисунок 4 — Испытательный стенд для измерения боковых сил: 1 — нагружающее устройство; 2 — рукоятка тормозного привода; 3 — колесо мотоцикла «Минск» с тормозным диском; 4 — механический дисковый тормоз с электромагнитом; 5 — измерительный датчик; 6 — рама стенда; 7 — беговой барабан

была разработана конструкция датчика, монтируемого в оси вращения колеса, позволяющего измерять величину боковых сил.

При идентификации равенства нулю опорной реакции заднего колеса блок управления формирует сигнал управления на разблокировку переднего тормоза мотоцикла — срабатывает электрический фиксатор привода переднего тормоза, установленного на руле мотоцикла.

Возле ручки тормозного привода устанавливается электро-механическое устройство, оснащенное кулачковым механизмом, приводимым во вращение через редуктор электрическим двигателем с регулируемой частотой вращения. Кулачек воздействует на тормозной привод растормаживая тормозной механизм и затормаживая привод после восстановления устойчивости мотоцикла.

На основе использования источников информации о величине нормальной и боковой реакций опорной поверхности заднего колеса и датчика угла поворота управляемого колеса дорожного мотоцикла «Минск» был разработан алгоритм управления движением мотоцикла, реализованный в электронном блоке управления. В качестве исполнительного механизма системы управления был использован дисковый тормоз (рисунок 6), включающий устройство измерения тормозного момента.

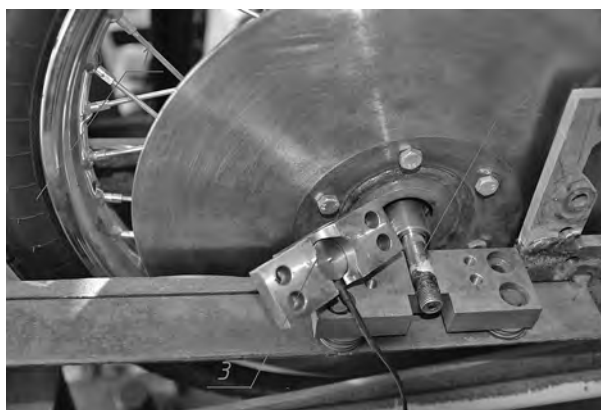


Рисунок 5 — Расположение измерительного датчика [3, 5, 11]: 1 — колесо мотоцикла «Минск» с тормозным диском; 2 — ось вращения колеса; 3 — тензометрический датчик

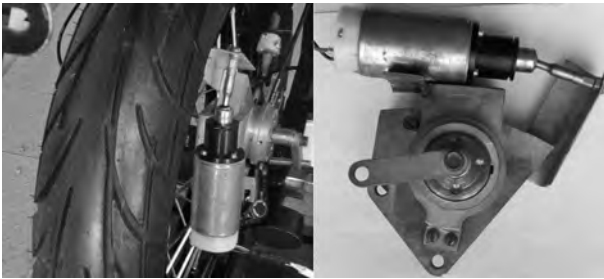


Рисунок 6 — Дисковый механический тормоз с исполнительным элементом, адаптивный к использованию в электронно-механической антиблокировочной системе [6]

Макетный образец ABS представляет собой электронно-механическую антиблокировочную систему, использующую в качестве исполнительного механизма дисковый тормоз, включающий устройство измерения тормозного момента, фактически реализуемого колесом. Электронно-механическая ABS отличается простой конструкцией, низкой стоимостью, адаптивностью к характеристикам опорной поверхности, и может быть рекомендована для использования на мотоциклах класса Эндуро, к которому относится и дорожный мотоцикл «Минск».

В электронно-механической антиблокировочной системе использован Н-мост для поддержания высоко-го быстродействия в различных частотных диапазонах (15–28 Гц) срабатывания исполнительного механизма.

На рисунке 7 представлен дорожный мотоцикл «Минск» с размещенными на нем датчиками САБ на основе измерения и анализа силовых факторов.

Торможение мотоцикла по криволинейной траектории является наиболее опасным, так как мотоцикл является неустойчивой механической системой (рисунок 9). Устойчивость движения мотоцикла обеспечивается гироскопическим моментом, возникающим при вращении его колес, их остановка влечет падение мотоцикла. На рисунке 8 представлена расчетная схема мотоцикла.



Рисунок 7 — Дорожный мотоцикл «Минск» на стенде испытаний тормозной динамики с размещенными на нем датчиками измерения сил: 1 — датчик угла поворота управляемого колеса; 2 — датчик нормальной нагрузки в пятне контакта переднего колеса с опорной поверхностью; 3 — датчик нормальной нагрузки в пятне контакта заднего колеса с опорной поверхностью; 4 — датчик величины боковых сил в пятне контакта колеса с опорной поверхностью

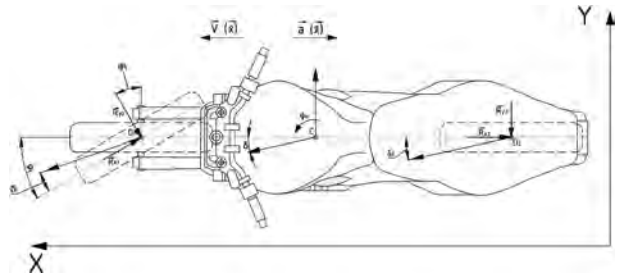


Рисунок 8 — Схема мотоцикла, совершающего торможение на криволинейной траектории (вид сверху)



Рисунок 9 — Ситуации падения мотоциклов при торможении: а — кувырок мотоцикла через переднее колесо в результате отрыва заднего колеса от опорной поверхности; б — падение мотоцикла в результате бокового скольжения из-за снижения величины боковых сил

Блокировка колеса при торможении в момент объезда препятствия или прохождения поворота приводит к снижению коэффициентов сцеплений колес мотоцикла как в продольном направлении ($\varphi_{\text{сдл}}$), так и в поперечном ($\varphi_{\text{сдп}}$). Падение сил в боковом направлении колес мотоцикла является причиной потери управляемости и устойчивости его курсового движения. Потеря управляемости и устойчивости движения чаще всего приводит к ситуациям, представленным на фотографиях, полученных в ходе проведения испытаний на полигоне кафедры «Техническая эксплуатация автомобилей» (см. рисунок 9).

При разработке алгоритма управления и компонента антиблокировочной системы дорожного мотоцикла «Минск» были учтены способы определения направления вектора результирующей силы, действующего на мотоцикл при разгоне и торможении. Рассматривались различные виды траектории движения мотоцикла — прямолинейное или криволинейное. Для идентификации вида движения (прямолинейное или криволинейное) на дорожный мотоцикл «Минск» был установлен датчик измерения угла поворота управляемого колеса (рисунок 10).

При торможении мотоцикла по прямолинейной траектории ABS не должна работать, так как отсутствует момент, отклоняющий мотоцикл от его курсового движения. При этом осуществляется максимальная реализация условий сцепления колес мотоцикла с дорогой. Критерием максимального использования коэффициента является равенство нулю производной от сил в контакте колеса по времени. Критерием идентификации скольжения являются отрицательные знаки производных от сил в контакте колеса по времени [2]. На рисунке 11 представлена осциллограмма изменения тормозного момента, полученная при проведении натурных испытаний устройства измерения тормозного момента, включенного в дисковый тормоз дорожного мотоцикла «Минск».

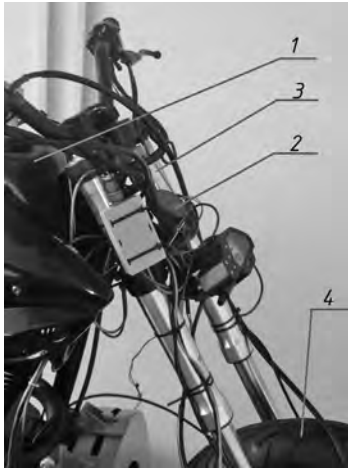


Рисунок 10 — Размещение датчика для измерения угла поворота управляемого колеса: 1 — дорожный мотоцикл «Минск»; 2 — датчик угла поворота управляемого колеса; 3 — передняя вилка мотоцикла «Минск»; 4 — переднее колесо мотоцикла «Минск»

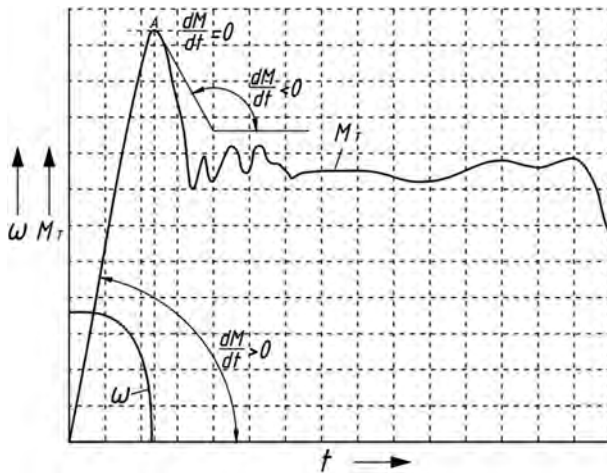


Рисунок 11 — Осциллограмма изменения тормозного момента при экстренном торможении дорожного мотоцикла «Минск» (сухой асфальт, начальная скорость 50 км/ч) [1, 2]

В момент блокировки колеса в пятне контакта начинается относительное скольжение S , что приводит к снижению коэффициента сцепления в продольном направлении $\varphi_{\text{сх}}$ и требует разблокировки колеса, для восстановления эффективности использования $\varphi_{\text{сх}}$, алгоритм работает циклично, что позволяет повысить эффективность использования коэффициента сцепления в продольном направлении $\varphi_{\text{сх}}$ в процессе торможения. В случае, когда при блокировке колеса обеспечивается реализация максимального значения фактически реализуемого тормозного момента и сохраняется $\varphi_{\text{сх_max}}$, то разблокировка колеса не требуется. В случае если затем колесо наезжает на дорожное покрытие с меньшим значением $\varphi_{\text{сх}}$ и начинается скольжение колеса, тогда происходит падение величины фактически реализуемого тормозного момента и разблокировка колеса. Алгоритм работает циклично.

Как известно, торможение колесной машины представляет собой процесс преобразования кинетической энергии в работу трения, осуществляемого в контакте колес с опорной поверхностью. Следовательно, создание способа повышения диссипации кинетической

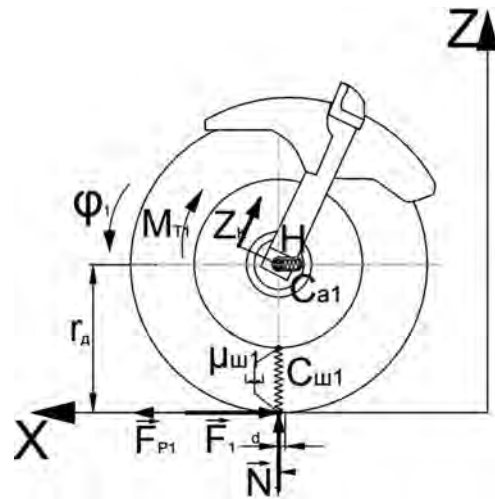


Рисунок 12 — Схема включения гармонического осциллятора в переднем колесном узле мотоцикла [4, 8]

энергии позволит повысить эффективность торможения машины.

Для повышения конкурентоспособности дорожных мотоциклов и обеспечения безопасности дорожного движения можно применить механическую систему активной безопасности, разработанную с применением гармонического осциллятора. Такая система позволит исключить возникновение «кувырка» [4] и повысить диссипацию кинетической энергии в пятне контакта колеса с опорной поверхностью при торможении.

Для обеспечения повышения диссипации энергии в пятне контакта колеса с опорной поверхностью и поддержания $\varphi_{\text{сх_max}}$ на уровне начального значения нами был использован гармонический осциллятор с различными частотными характеристиками ($k = 12-30$ Гц). Размещение гармонического осциллятора в колесном узле заднего колеса дорожного мотоцикла «Минск» позволило получить автоколебания сил в контакте колеса с опорной поверхностью [4, 8].

Теоретическими исследованиями процесса торможения дорожного мотоцикла «Минск» с гармоническим осциллятором было установлено, что с увеличением скорости скольжения контакта колеса до 30 с^{-1} величина коэффициента сцепления колеса с дорогой увеличивается, превосходя его изначальное значение. Полученная зависимость аппроксимировалась функцией вида:

$$F(V) = k\sigma_n(\text{sign}(V) - aV + bV^3),$$

где k — коэффициент сухого трения; V — скорость скольжения контакта колеса; σ_n — нормальное напряжение; a и b — экспериментальные коэффициенты.

Для проведения теоретических исследований скольжения контакта колеса относительно опорной поверхности при его торможении была предложена расчетная схема, представленная на рисунке 13.

Тела совершают поступательное перемещение с постоянной скоростью V . Движения первого и второго тела также имеют поступательный характер вдоль неподвижной оси Ox . Введем координаты для перемещений тел. Пусть q_2 — перемещение первого тела в неподвижной системе координат, а q_1 — перемещение второго тела относительно другого тела. Будем предполагать, что при $q_1 = q_2 = 0$ обе пружины являются недеформированными. Так как массивное тело движется с постоян-

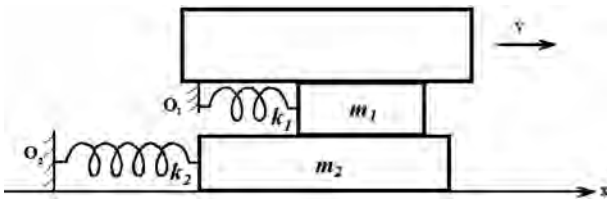


Рисунок 13 — Модель взаимодействия поверхностей трения тел: k_1, k_2 — коэффициенты жесткости упругих элементов; m_1, m_2 — массы контактирующих тел [7]

ной скоростью, то система координат, связанная с ним, будет инерциальной. Уравнения движения системы [9] будут иметь следующий вид:

$$m_1 \ddot{q}_1 + k_1 q_1 = -F(V); \quad m_2 \ddot{q}_2 + k_2 q_2 = F(V);$$

$$F(V) = k(V - g_1 V^3 + g_2 V^5);$$

$$V = v + \dot{q}_1 - \dot{q}_2.$$

Сделаем замену переменных:

$$q_1 = -k_1^{-1} F(v) + x_1; \quad q_2 = k_1^{-1} F(v) + x_2, \quad (2)$$

и представим уравнения движения в следующем виде:

$$m_1 \ddot{x}_1 + k_1 x_1 = -[F(V) - F(v)];$$

$$m_2 \ddot{x}_2 + k_2 x_2 = [F(V) - F(v)]. \quad (3)$$

Система уравнений (3) имеет нулевое решение, когда $x_1 = x_2 = 0$, которое соответствует скольжению одного твердого тела по другому с постоянной скоростью. Постоянные растяжения пружин в этом случае определяются величиной силы трения и согласно соотношениям (1) равны:

$$q_{10} = -k_1^{-1} F(v); \quad q_{20} = -k_2^{-1} F(v).$$

Устойчивость стационарного скольжения двух тел исследуем на основе линеаризованной системы уравнений (3):

$$m_n \ddot{x}_n + k_n x_n = (-1)^n F'(v)(\dot{x}_1 - \dot{x}_2), \quad n = 1, 2;$$

$$F'(v) = k(1 - 3g_1 v^2 + 5g_2 v^4). \quad (4)$$

Получим:

$$\dot{W} = -F'(v)(\dot{x}_1 - \dot{x}_2)^2; \quad W = T + \Pi;$$

$$T = \frac{1}{2}(m_1 \dot{x}_1^2 + m_2 \dot{x}_2^2); \quad \Pi = \frac{1}{2}(k_1 x_1^2 + k_2 x_2^2).$$

Найдем производную полной механической энергии системы, используя систему (3):

$$\dot{W} = -[F(v+w) - F(v)]w; \quad w = \dot{x}_1 - \dot{x}_2.$$

В результате проведенных исследований скольжения контакта колеса относительно опоры поверхности с помощью пакета программ Mathematica 5.1 получены графики, характеризующие изменение тормозной силы в зависимости от скорости скольжения контакта колеса с учетом частотных характеристик гармонического осциллятора (рисунок 14).

Анализ результатов расчета показал, что при частотах собственных колебаний гармонического осциллятора, равных 22–25 Гц, при коэффициентах сцепления колеса с дорогой, находящихся в диапазоне 0,4–0,6, отмечается возрастание тормозной силы. Следовательно, система возбуждения автоколебаний сил в контакте

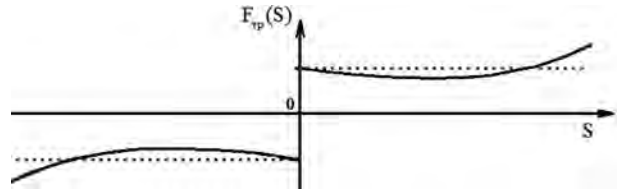


Рисунок 14 — Аппроксимированный график изменения тормозной силы в зависимости от скорости скольжения контакта колеса дорожного мотоцикла «Минск» с гармоническим осциллятором

колес с дорогой позволит повысить эффективность торможения мотоцикла (рисунок 15).

На рисунке 15 представлена осциллограмма автоколебаний угловой скорости вращения колеса мотоцикла «Минск» с гармоническим осциллятором, полученная на тормозном стенде.

Графики боковых сил в пятне контакта переднего колеса мотоцикла «Минск», полученные при проведении стендовых испытаний, для прямолинейного и криволинейного движения представлены на рисунке 16.

На основе анализа результатов дорожных и стендовых испытаний торможения мотоцикла «Минск» с системой возбуждения автоколебаний тормозной силы установлено:

- при относительном скольжении контакта колеса дорожного мотоцикла на тормозном стенде, превышающего 80 %, отмечается возрастание коэффициента сцепления колеса с поверхностью барабана;
- частота колебаний тормозной силы в контакте колеса мотоцикла «Минск» с использованием гармонического

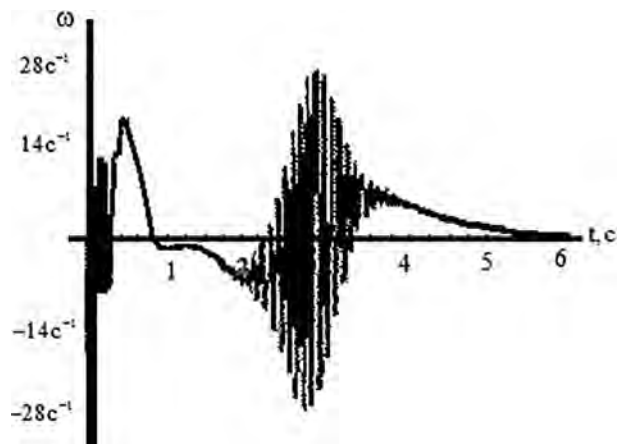


Рисунок 15 — Осциллограмма автоколебаний угловой скорости вращения колеса мотоцикла «Минск» с гармоническим осциллятором, полученная на тормозном стенде

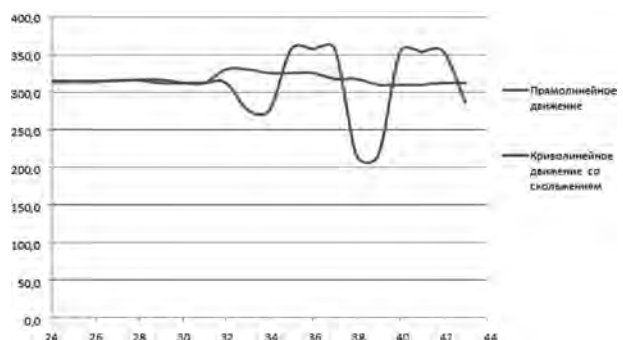


Рисунок 16 — Графики боковых сил в пятне контакта переднего колеса мотоцикла «Минск»

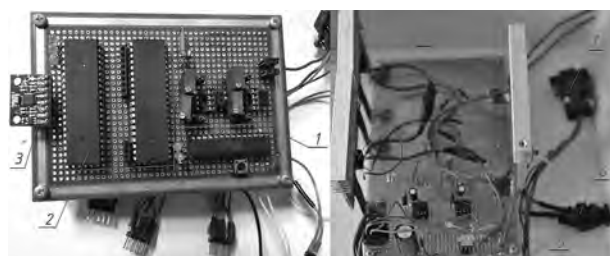


Рисунок 17 — Компоненты электронного блока управления антиблокировочной системы на основе измерения и анализа сил в контакте колес мотоцикла «Минск» с опорной поверхностью [10]:
 1 — входная группа подключения датчиков;
 2 — программируемый блок; 3 — плата измерения угла поворота руля; 4 — силовой транзистор H-моста;
 5 — чип управления питания; 6 — предохранитель на 10 А;
 7 — шина управления исполнительным элементом;
 а — макетная плата со смонтированным блоком управления;
 б — H-мост блока управления обеспечивающий работы силового исполнительного элемента (соленоида)

осциллятора с частотой собственных колебаний в диапазоне 22–25 Гц время диссипации начальной кинетической энергии колеса уменьшается на 0,2–0,3 с;
 - при ограниченных значениях частот срабатывания электромагнитных клапанов гидропневмомодуляторов существующих антиблокировочных систем, составляющих 18–20 Гц, предлагаемая механическая система возбуждения автоколебаний тормозной силы в контакте колеса может осуществлять активную диссипацию начальной кинетической энергии в контакте колеса мотоцикла с дорогой с частотой более 25 Гц (параметры системы: масса водителя $m_v = 80$ кг, масса мотоцикла $m_m = 138$ кг, шины).

Для оценки качества функционирования исполнительного механизма (дисковый тормоз) предлагаемой системы управления торможением была разработана электронная схема с H-мостом, выполненная на транзисторах, обеспечивающих высокую скорость управляющего воздействия (см. рисунок 16).

Общие выводы по результатам исследований. 1. Разработаны устройства измерения сил в контакте колес с опорной поверхностью дорожного мотоцикла «Минск», включающие электронные датчики измерения сил в контакте колес с опорной поверхностью, как в продольном, так и поперечном направлении колеса (разработан макетный образец и прототип, для проведения испытаний на стенде и мотоцикле), что позволяет реализовать эффективного алгоритма процесса торможения дорожного мотоцикла «Минск», обеспечивающего управляемость и устойчивость его движения.

2. Разработан алгоритм управления электромеханической антиблокировочной системы, идентифицирующий траектории движения мотоцикла и адаптивный к характеристикам опорной поверхности; выполнена

апробация алгоритма в рамках испытательного стенда с устройствами измерения сил в контакте колес с опорной поверхностью.

3. Разработан механический дисковый тормоз (выполнено изготовление ряда рабочих прототипов, применяемых при проведении испытаний системы активной безопасности мотоцикла), адаптивный к электронно-механической системе активной безопасности за счет включения в его конструкцию устройства измерения тормозного момента, идентифицирующего фактическую реализацию колесом тормозного момента по условиям его сцепления с опорной поверхностью.

4. Создан электронный блок управления электро-механической антиблокировочной системой (создан макетный образец и прототип, устанавливаемый для испытаний на стенд и мотоцикл), реализующий алгоритм управления торможением дорожного мотоцикла «Минск» на основе измерения и анализа сил, отличающийся низкой стоимостью и адаптивностью к любым классам мотоциклов класса Эндуро.

Список литературы

1. Управление движением колесных машин / С.Н. Поддубко [и др.]; под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. И.С. Сазонова. — Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2018. — 511 с.: ил.
2. Ким, В.А. Методология создания адаптивных САБ АТС на основе силового анализа: монография / В.А. Ким. — Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2003. — 346 с.
3. Тормозная система мотоцикла: пат. ВУ 22039 / И.С. Сазонов, А.С. Мельников, М.Л. Петренко, А.В. Юшкевич, С.Ю. Билык, С.В. Пархоменко.
4. Петренко, М.Л. Теоретические основы создания системы следящего торможения велосипеда «Аист» / М.Л. Петренко, В.А. Ким // Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси; редкол.: С.Н. Поддубко [и др.]. — 2019. — Вып. 8. — С. 26–29.
5. Система активной безопасности: пат. ВУ 9363 / А.В. Юшкевич, И.С. Сазонов, А.С. Мельников, В.А. Ким, М.Л. Петренко. — Опубл. 30.08.2013.
6. Дисковый тормозной механизм: пат. ВУ 21545 / И.С. Сазонов, А.С. Мельников, М.Л. Петренко, А.В. Юшкевич, С.Ю. Билык, С.А. Гайшун.
7. Лагранж, Ж. Аналитическая механика / Ж. Лагранж. — М.: Гос. изд-во техн.-теорет. лит-ры, 1950. — 440 с.
8. Юшкевич, А.В. Теоретическое обоснование метода диссипации кинетической энергии мотоцикла «Минск» при торможении / А.В. Юшкевич, В.А. Ким // Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси; редкол.: С.Н. Поддубко [и др.]. — 2019. — Вып. 8. — С. 26–29.
9. Шамберов, В.Н. Метод аналитического исследования влияния сухого трения на поведение авторегулируемых динамических систем / В.Н. Шемберов // Науч. приборостроение. — 2003. — Т. 13, № 3. — С. 77–83.
10. Микропроцессорное управление антиблокировочной системой мотоцикла / А.С. Мельников [и др.] // Изв. МГТУ «МАМИ». — 2015. — Т. 1, № 2(24). — С. 31–35.
11. Электронно-механическая система активной безопасности / М.Л. Петренко [и др.] // Вестн. БРУ. — 2016. — № 4. — С. 46–55.

Petrenko M.L.

Components of the anti-lock braking system of the road bike Minsk based on power factors

The paper presents the results of research on the creation of components of active safety systems for the road motorcycle Minsk, which make it possible to implement algorithms for controlling its braking, based on the measurement and analysis of forces arising in contact with the motorcycle wheels with the bearing surface.

Поступила в редакцию 28.08.2020.