

УДК 629.113

А. С. Мельников, И. С. Сазонов, В. А. Ким, О. В. Билык, В. И. Василевский

АЛГОРИТМ СИСТЕМЫ АКТИВНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДВУХКОЛЕСНОЙ МОБИЛЬНОЙ МАШИНЫ

UDC 629.113

A. S. Melnikov, I. S. Sazonov, V. A. Kim, O. V. Bilyk, V. I. Vasilevsky

THE ALGORITHM OF THE SYSTEM OF ACTIVE SAFETY OF A TWO-WHEELED MOBILE MACHINE

Аннотация

Рассматривается работа системы активной безопасности двухколесной мобильной машины, адаптивной к механическому приводу тормозов и представляющей собой электромеханическую систему. Принципиальной особенностью предлагаемого алгоритма системы активной безопасности является то, что в основу формирования сигналов управления положен принцип анализа величин и знаков производных, фактически реализуемых силовых факторов, возникающих в контакте колес машины с опорной поверхностью.

Ключевые слова:

система активной безопасности, двухколесная мобильная машина, алгоритм управления, регулирование режимов движения, силовые факторы, повышение устойчивости и управляемости курсового движения и эффективности торможения.

Abstract

The paper deals with the operation of the system of active safety of a two-wheeled mobile machine, which is an electromechanical system and is adaptive to the mechanical drive of brakes. The basic feature of the suggested algorithm of the system of active safety is the fact that the formation of control signals is based on the analysis of values and signs of derivatives, and on actually realizable force factors occurring through the contact of car wheels and the bearing surface.

Key words:

active safety system, two-wheeled mobile machine, control algorithm, traffic conditions control, force factors, increase of stability and controllability of course-keeping motion and braking efficiency.

Введение

Интенсивное развитие получают такие системы регулирования динамики движения мобильных машин (СРДД, международное обозначение – VDC) [1–8, 10–18], как системы BAS («Брэйк эсист» (Brake Assist)), ESP («Электроник Стабилити Программ» (Electronic Stability Program)) и др., производимые известными фирмами «Вабко» (Wabco), «Бош» (Bosch), «Лукас» (Lucas), «Гирлинг» (Girling), «Бендикс» (Bendix), «Дана» (Dana) и рядом других фирм

[5–10, 17–20]. Кроме того, наряду с повышением безопасности мобильных машин, современная система активной безопасности (САБ) решает проблему повышения их эксплуатационных качеств. Однако главной задачей практически всех САБ остается обеспечение управляемости и устойчивости движения мобильных машин в любых режимах движения.

Появление систем регулирования динамики движения автомобиля (СРДД, VDC) объясняется тем, что функции АБС и ПБС ограничивались лишь кор-

ректировкой основных порогов срабатывания. Стремление к учету в алгоритмах управления непрогнозируемых внешних воздействий привело к созданию СРДД, позволяющих автоматическую коррекцию параметров управления. Таким образом, СРДД являются дальнейшим логическим развитием АБС/ПБС, использующих в качестве источников первичной информации кинематические параметры управляемого объекта.

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

Повышение эффективности систем активной безопасности мобильных машин привело к необходимости использования в качестве источников информации силовых факторов, возникающих в контакте колес мобильной машины с опорной поверхностью.

Основная цель работы – формирование алгоритма системы активной безопасности двухколесной мобильной машины. При этом принципиальной особенностью данного алгоритма является то, что в основу формирования сигналов управления положен принцип анализа величин и знаков производных, фактически реализуемых силовых факторов, возникающих в контакте колес машины с опорной поверхностью.

Обобщенный алгоритм системы активной безопасности двухколесной мобильной машины

Современная система управления движением мобильных машин (СРДД или VDC) представляет собой систему с

обратной связью, главное назначение которой – сохранить курсовую устойчивость движения мобильной машины. Она объединена с тормозной системой и силовой передачей [4–10, 16–20].

Работа систем управления движением мобильных машин осуществляется на основании обобщенного алгоритма. В обобщенном алгоритме [18–22] под регулированием тормозных и тяговых сил понимается регулирование, обеспечивающее максимальное использование коэффициентов сцеплений колес двухколесной мобильной машины с опорной поверхностью. Главной задачей данного алгоритма является обеспечение курсовой устойчивости в любом режиме движения двухколесной мобильной машины, поэтому в качестве приоритетных сигналов формирования управления в алгоритме САБ [18–20] предложены отрицательные знаки производных боковых реакций колес или же отрыв любого из колес двухколесной мобильной машины. Все другие сигналы, характеризующие отрицательными знаками производных тормозных, тяговых сил, превышение нормальных реакций колес и т. д. являются второстепенными.

В обобщенном алгоритме операции регулирования в интервале времени от выключения до включения исполнительного механизма выполняются в зависимости от электромеханических свойств исполнительного механизма и характеристик опорной поверхности. Данный алгоритм предусматривает выполнение операции регулирования подачи топлива с одновременным воздействием на исполнительные механизмы.

В обобщенном алгоритме критерием формирования сигналов управления параметрами подвески двухколесной мобильной машины являются нулевые значения нормальных реакций колес или его превышение заданному значению как по модулю, так и по частоте. По существу, изменение нормальной реакции колеса на опорную поверхность представляет собой ускорение переме-

щения, а его вторая производная – эквивалент третьей производной от перемещения. Кроме того, алгоритм предусматривает частотный контроль изменения нормальных реакций колес с опорной поверхностью.

Обобщенный алгоритм предусматривает полную реализацию коэффициента сцепления колес с опорной поверхностью путем выполнения операции регулирования давления рабочей среды в тормозном приводе для ее приведения к соответствующим значениям, фактически реализуемым колесами моментам. Отметим, что для формирования сигналов управления важны не модули сил, а знаки их производных.

Рассмотрим силы и моменты, фактически реализуемые колесами двухколесной мобильной машины, которые подлежат анализу для формирования сигналов управления. Как известно, колесо движется с поступательной скоростью V под действием касательных сил T . На колесо действуют вес машины G , нормальные реакции $N_{\text{ведущ}}$, $N_{\text{ведом}}$, касательная сила тяги R_k , боковая реакция R_b , тяговый момент M_k в тяговом режиме движения, в тормозном механизме – момент $M_{\text{тор}}$ [3–4, 11–22 и др.].

Максимальные значения касательной сил R_b , R_k и T ограничены нормальной реакцией N и коэффициентом сцепления $\varphi_{\text{сц}}$ и определяются по формулам:

$$R_b = N \cdot \varphi_{\text{сц}}; \quad (1)$$

$$R_k = N \cdot \varphi_{\text{сц}}; \quad (2)$$

$$T = N \cdot \varphi_{\text{сц}}; \quad (3)$$

$$M_k = N \cdot \varphi_{\text{сц}} \cdot r. \quad (4)$$

При угле поворота α продольной оси симметрии колеса относительно своего начального положения оно совершает криволинейное движение. В зависимости от характеристик шин и скорости движения центра колеса возникает отклонение вектора скорости V центра колеса от направления продоль-

ной оси, которая характеризуется углом увода δ . Кроме того, при криволинейном движении боковая реакция R_b связана с углом увода соотношением [3–4, 11–22 и др.]

$$R_b = k_y \cdot \delta, \quad (5)$$

где k_y – коэффициент сопротивления уводу.

Предельная величина боковой реакции R_b ограничена значениями N и $\varphi_{\text{сц}}$. Например, при превышении углом увода своего предельного значения $\delta > N \cdot \varphi_{\text{сц}} / k_y$ последует процесс проскальзывания пятна контакта колеса в боковом направлении, что в последующем повлечет спад коэффициента сцепления как в боковом, так и в продольном направлениях. Вследствие этого в тормозном и в тяговом режимах производные dR_b/dt и dT/dt будут характеризоваться отрицательными знаками.

Структурная схема системы активной безопасности представлена на рис. 1.

В состав структурной схемы входят следующие элементы: силоизмерительные датчики; датчик скорости; блок управления подтормаживанием колес; блок управления подачей топлива; блок управления свойствами подвески; блок управления силовым исполнительным элементом механизма оттормаживания; блок аналого-цифрового преобразования сигналов; усилитель сигналов; микропроцессорный блок обработки информации. Состав приведенной системы активной безопасности двухколесной мобильной машины имеет некоторые особенности, отличающие её от подобных систем активной безопасности как двухколесных мобильных машин, так и от подобных систем, устанавливаемых на автомобилях. Данная система является адаптивной к механическому приводу, используемому для управления тормозными механизмами. Она может работать как с дисковыми тормозами, так и с барабанными, имеющими

механический привод. Элементы системы, отвечающие за контроль параметров движения двухколесной мобильной машины, выполнены по электрическим

схемам. Таким образом, система представляет собой электромеханическую систему без использования гидравлических элементов.

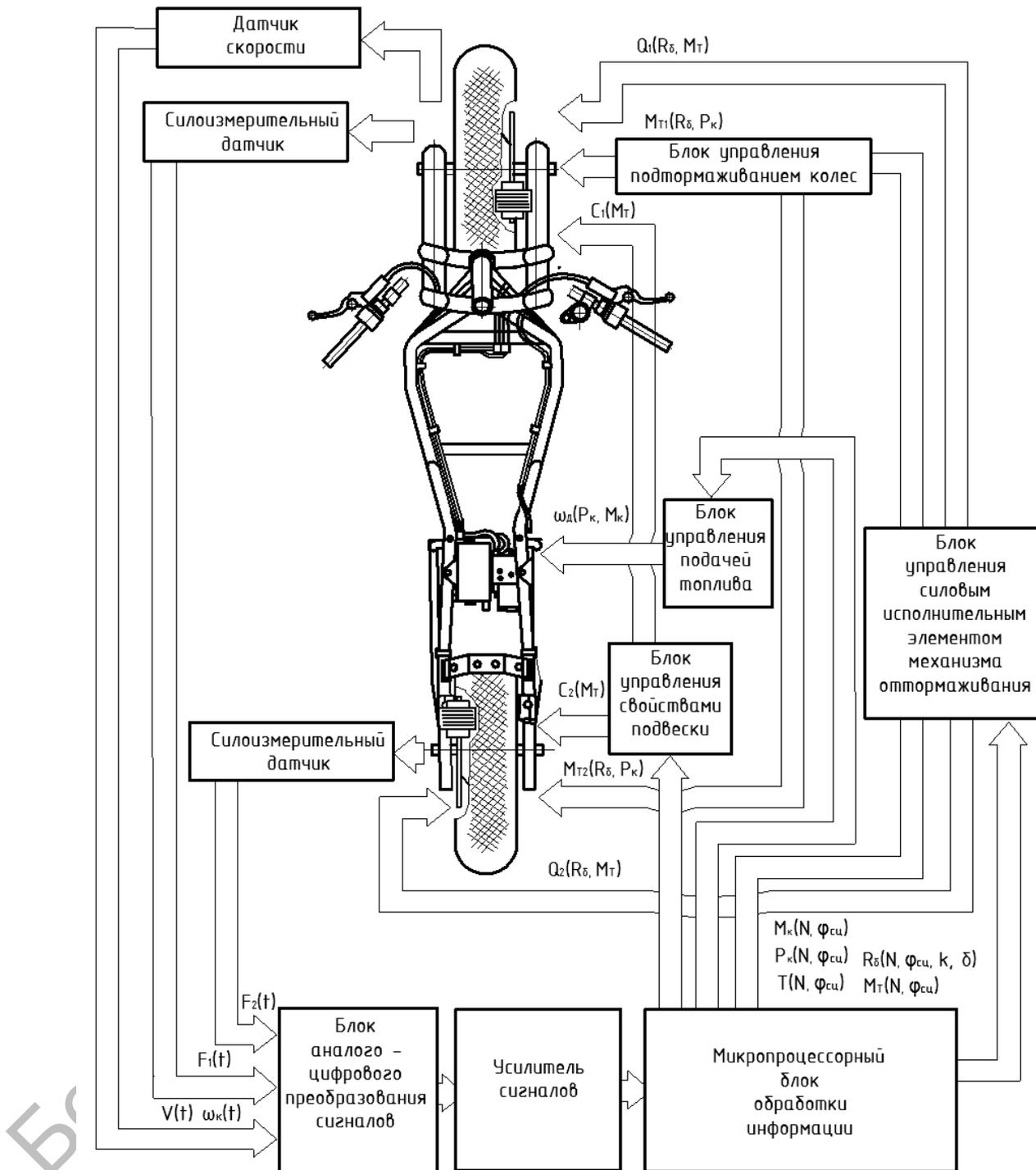


Рис. 1. Схема системы активной безопасности двухколесной мобильной машины

В связи с этим устройством, изменяющим усилия прижатия тормозных колодок к тормозному диску $Q_{1,2}$, является блок управления силовым исполнительным механизмом, представляющий собой тяговый магнит. Тяговый магнит, интегрированный в систему управления тормозного механизма посредством механических элементов и силовой электрической схемы управления, воздействует на механизм прижатия тормозных колодок $Q_{1,2}$ к тормозному диску, тем самым уменьшая усилия их прижатия. Через электрическую схему управления тяговый магнит управляется микропроцессорным блоком обработки информации.

Сигналы $F_{1,2}$ от силоизмерительных датчиков, датчика скорости V , а также информация о частоте вращения коленчатого вала двигателя ω_d , частоте вращения колеса ω_k проходят преобразование в блоке аналого-цифрового преобразования и после усиления обрабатываются в микропроцессорном блоке. На основании поступивших сигналов микропроцессорный блок обработки информации вычисляет значения нормальных реакций $N_{ведущ}$, $N_{ведом}$, касательную силу тяги R_k , боковые реакции R_b , тяговый момент M_k в тяговом режиме движения, в тормозном механизме – момент $M_{тор}$. Проанализировав полученные значения с учетом условий движения на текущий момент времени и определив значения производных боковых реакций, микропроцессорный блок вырабатывает управляющие сигналы для блока управления силовым исполнительным элементом, блока управления подачи топлива в двигатель, блока управления подтормаживанием колес, блока управления свойствами подвески. Управляющие сигналы для блоков формируют их воздействие на тормозные механизмы, подвеску и двигатель с целью достижения оптимальных значений касательной силы тяги R_k , боковых реакций R_b , тягового момента M_k и тормозного момента $M_{тор}$. В связи с тем,

что управление движением осуществляется двухколесной мобильной машиной, для которой высока вероятность опрокидывания при потере устойчивости движения, необходимо учитывать скорость движения машины и возникающие при этом гироскопические моменты.

Схема обобщенного алгоритма системы активной безопасности двухколесной мобильной машины представлена на рис. 2.

Принципиальной особенностью предлагаемого алгоритма является то, что в основу формирования сигналов управления положен принцип анализа величин и знаков производных, фактически реализуемых силовых факторов, возникающих в контакте колес машины с опорной поверхностью, а не кинематических параметров колес, которые являются следствиями силовых воздействий.

При всем многообразии факторов, оказывающих воздействие на управляемую машину, предыдущие исследования [18–22] показали, что существуют определенные закономерности изменения некоторых силовых факторов. Установление закономерностей изменения силовых факторов весьма важно для анализа соответствующих групп сил, характер изменения которых оказывает наиболее существенное влияние на кинематические параметры движения двухколесной мобильной машины.

Использование внешних силовых факторов, нормальных реакций опорной поверхности на колеса, тормозных моментов, внутренних силовых факторов, усилия прижатия тормозных колодок к тормозному диску позволяет прийти к созданию систем следящего регулирования торможением двухколесной мобильной машины [18–22].

Обобщенный алгоритм предусматривает работу системы активной безопасности в тормозном, тяговом и транспортном режимах после измерения сигналов: Q – усилия прижатия тормозных колодок к тормозному диску; V –

скорости движения; P_k – касательной силы тяги; ω_d – частоты вращения двигателя, ω_k – частоты вращения колеса; N_i – нормальных реакций; $F_{1,2}$ – силоиз-

мерительных датчиков; R_b – боковых сил; M_i – момента, существующего в данное время.

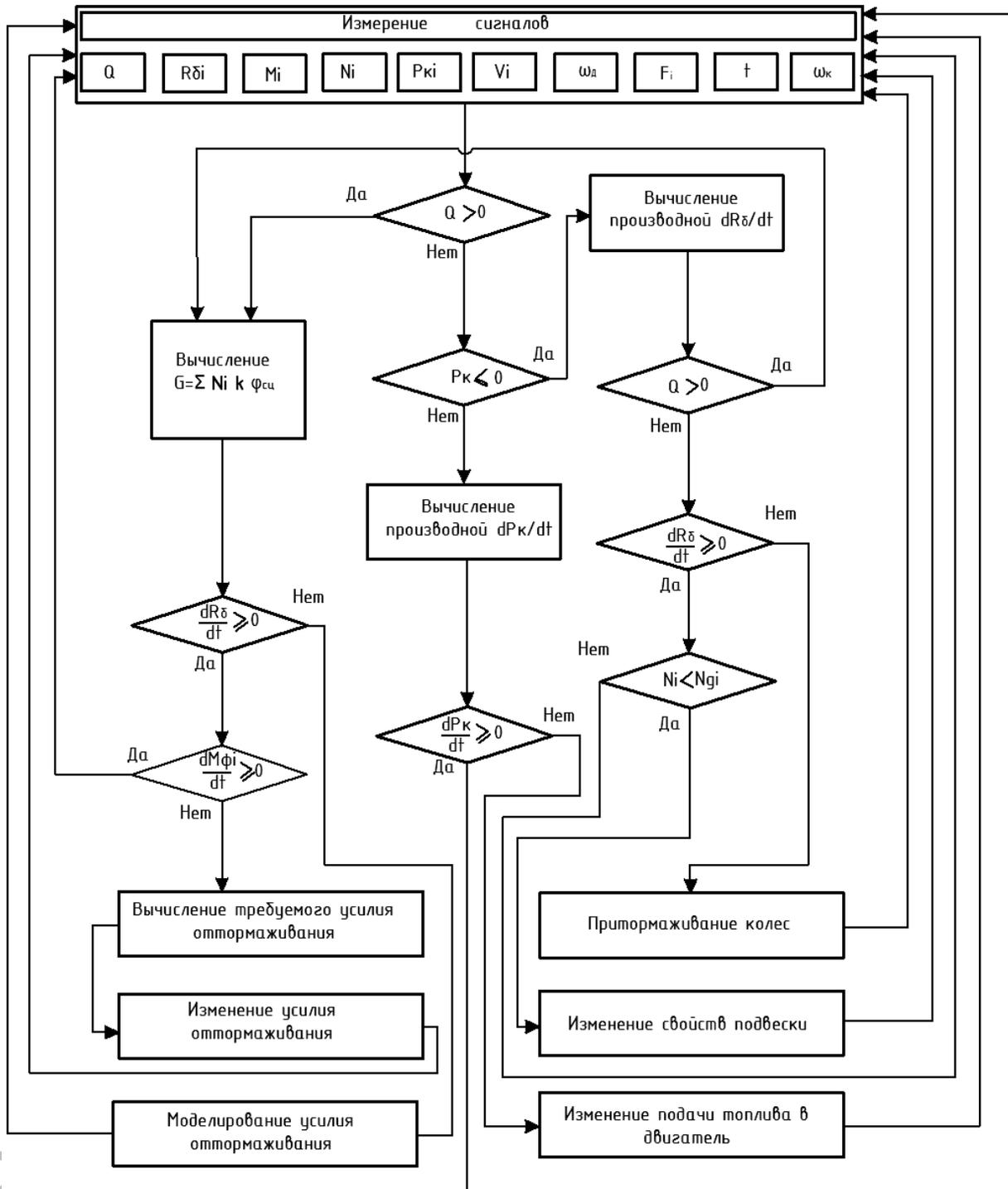


Рис. 2. Схема обобщённого алгоритма системы активной безопасности двухколесной мобильной машины

После сбора исходных данных, необходимых для работы системы, получаемых измерением и вычислением величин, приведенных выше, определяется значение усилия прижатия тормозных колодок к тормозному диску Q .

В зависимости от режима движения величина усилия прижатия тормозных колодок к тормозному диску Q может изменять свое значение. При наличии положительного значения Q система активной безопасности работает по той части алгоритма, работа которой обеспечивает устойчивое движение машины в режиме торможения.

Иначе говоря, признаком начала торможения является появление сигналов от датчиков контроля усилия прижатия тормозных колодок к тормозному диску и датчиков фактически реализуемого тормозного момента. При этом операцию регулирования двигателем прекращают, и цикл управления переходит на обработку сигналов фактически реализуемых колесами тормозных моментов и боковых реакций. В результате обработки сигналов устанавливают знаки производных от боковых реакций. При отрицательных производных осуществляют операции автоматического изменения усилия оттормаживания с помощью блока силового исполнительного элемента, показанного на рис. 1. Для этого вычисляется производная dR_{ϕ}/dt ; при ее отрицательных знаках производится моделирование усилия оттормаживания. В противном случае осуществляют операции регулирования усилия оттормаживания по способу следящего регулирования торможением. При этом решается проблема полной диссипации кинетической энергии в самом тормозном механизме, а не в контакте колес с опорной поверхностью. После каждого расчета усилия оттормаживания осуществляют проверку знака производной тормозного момента. Производится вычисление производной $dM_{\phi i}/dt$ и в случае отрицательного значения определяется необходимое уси-

лие оттормаживания, которое изменяется блоком управления силовым исполнительным элементом, управляемым через силовую электрическую схему микропроцессорным блоком, показанным на рис. 1. При положительном значении производной $dM_{\phi i}/dt$ информация поступает в блок сбора исходных данных для анализа существующих условий движения.

Значение усилия прижатия тормозных колодок к тормозному диску Q учитывается системой для обеспечения устойчивого движения машины на всех режимах движения.

При отсутствии усилия прижатия тормозных колодок к тормозному диску Q выполняется вычисление и анализ касательной силы тяги P_k . При ее положительных значениях производится вычисление производной dP_k/dt . При отрицательных значениях производной выполняется регулирование подачи топлива в двигатель. Регулирование позволяет, в первую очередь, предотвратить потерю устойчивости движения машины в случае превышения значений P_k допустимых значений по условиям сцепления с опорной поверхностью и, как следствие, буксование ведущего колеса и занос транспортного средства, а также уменьшить расход топлива. После выполнения операции ограничения подачи топлива в двигатель производится проверка наличия тормозного момента и усилия прижатия тормозных колодок к тормозному диску. При равенстве нулю указанных параметров продолжается проверка знака производной боковых реакций. Если имеет место отрицательный знак производной, операция ограничения подачи топлива в двигатель повторяется.

При положительном значении производной dP_k/dt информация поступает в блок сбора исходных данных для анализа существующих условий движения.

Для значений $P_k \leq 0$ производится вычисление производной dR_{ϕ}/dt , затем анализируется значение Q , и в случае положительного значения система работает

по алгоритму, соответствующему случаю торможения мобильной машины.

При движении двухколесной мобильной машины силоизмерительные датчики производят непрерывное измерение нормальных реакций колес на опорную поверхность. Сигналы от датчиков поступают на микропроцессорный блок, где подвергаются обработке, и формируется сигнал управления.

Если усилия прижатия тормозных колодок к тормозному диску отсутствуют, анализируется значение производной dR_6/dt и при положительном либо равном нулю значении оценивается текущее значение нормальной реакции N_i . Для случая, когда текущее значение N_i меньше допустимого значения нормальной реакции по условиям сцепления Ng_i , осуществляется изменение свойств подвески. Регулирование характеристик подвесок производят путем изменения коэффициентов жесткости, демпфирования известными способами. Для случая равенства либо превышения текущего значения N_i допустимого значения нормальной реакции по условиям сцепления Ng_i информация поступает в блок исходных для анализа существующих условий движения и принятия управляющих решений.

Выводы

Проведенные исследования, разработанные теоретические положения, методы расчета и конструкции [18–22] систем активной безопасности мобильных машин позволили сформулировать алгоритм системы активной безопасности двухколесной мобильной машины. Рассматриваемая система дает возможность управлять движением мобильной машины в тяговом, транспортном и тормозном режимах движения. При этом система активной безопасности является адаптивной к механическому приводу тормозов и представляет собой электромеханическую систему, объединенную с тормозной системой и силовой передачей.

В обобщенном алгоритме под регулированием тормозных и тяговых сил понимается регулирование, обеспечивающее максимальное использование коэффициентов сцеплений колес двухколесной мобильной машины с опорной поверхностью.

Главной задачей обобщенного алгоритма является обеспечение курсовой устойчивости в любом режиме движения двухколесной мобильной машины, поэтому в качестве приоритетных сигналов формирования управления в алгоритме САБ предложены отрицательные знаки производных боковых реакций колес или же отрыв любого из колес двухколесной мобильной машины. Все другие сигналы, характеризующие отрицательными знаками производных тормозных, тяговых сил, превышение нормальных реакций колес и т. д. являются второстепенными.

В обобщенном алгоритме операции регулирования в интервале времени от выключения до включения исполнительного механизма выполняются в зависимости от электромеханических свойств исполнительного механизма и характеристик опорной поверхности. Данный алгоритм предусматривает выполнение операции регулирования подачи топлива с одновременным воздействием на исполнительные механизмы, причем приоритетным сигналом формирования сигналов управления является отрицательный знак производной боковой реакции или отрыв любого из колес.

В обобщенном алгоритме критерием формирования сигналов управления параметрами подвески АТС являются нулевые значения нормальных реакций колес или его превышение заданному значению как по модулю, так и по частоте. По существу, изменение нормальной реакции колеса на опорную поверхность представляет собой ускорение перемещения, а его вторая производная – эквивалент третьей производной от перемещения. Кроме того, алгоритм предусматривает частотный кон-

троль изменения нормальных реакций колес с опорной поверхностью.

Обобщенный алгоритм предусматривает полную реализацию коэффициента сцепления колес с опорной поверхностью путем выполнения операции регулирования усилий прижатия тормозных колодок к тормозному диску для их приведения к соответствующим значениям, фактически реализуемым колесами моментам, при этом для фор-

мирования сигналов управления важны не модули сил, а знаки их производных.

Принципиальной особенностью алгоритма системы активной безопасности является то, что в основу формирования сигналов управления положен принцип анализа величин и знаков производных, фактически реализуемых силовых факторов, возникающих в контакте колес машины с опорной поверхностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тормозные системы. Понятия и определения [Электронный ресурс] : справочник / BOSCH B2B PORTAL. – М., 2010. – Режим доступа : <http://www.bosch.ru>.
2. **Ломако, С. И.** Автоматизация процесса торможения автомобиля : учеб. пособие / С. И. Ломако, Е. М. Гецович. – Киев : УМК ВО, 1988. – 88 с. : ил.
3. **Антонов, Д. А.** Теория устойчивости движения многоосных автомобилей / Д. А. Антонов. – М. : Машиностроение, 1978. – 216 с.
4. **Диваков, А.** Активная подвеска и «интеллектуальные» тормоза / А. Диваков, О. Растегаев // Авторевю. – 2001. – № 1. – С. 8–11.
5. **Bleckman, H.** Traction control system with Teves ABS Mark II / H. Bleckman // SAE Technical Paper Series, 860506. – 1995. – № 78. – P. 9.
6. **Buchholz, K.** Borg Warner 4WD on Acura SUV / K. Buchholz // Automotive engineering. – 2000. – № 11. – P. 109.
7. **Burckhardt, M.** Bremsdynamische Untersuchungen von Fahrzeugen mit fester und abgeknickter Bremskraftverteilung / M. Burckhardt, E. G. von Glasner // Automobiltechnische Zeitschrift. – 1974. – Bd. 76, № 7. – S. 230–235.
8. **Пат. 2009 / 135658 WO, МПК F 16 D 55 / 22, F 16 D 55 / 226, F 16 D 55 / 228.** Hydraulic disc brake and method for controlling the same / E. Baumgartner, J. Pericevic ; Knorr-Bremse Systeme fuer Nutzfahrzeuge GmbH ; заявл. 06.05.09 ; опубл. 12.11.09. – 17 с.
9. **Gaus, H.** ASD, ASR und 4 Matic: Drei Systeme im «Konzept Active Sicherheit» von Daimler Benz / H. Gaus, H.-J. Schopf // ATZ. – 1986. – Vol. 88, № 5/6. – S. 273–284.
10. **Пат. 2008 / 080962 WO, МПК F 16 D 55 / 2265, F 16 D 65 / 54, F 16 D 65 / 14.** Disc brake, particularly for a commercial vehicle / E. Baumgartner, J. Pericevic ; Knorr-Bremse Systeme fuer Nutzfahrzeuge GmbH ; заявл. 28.12.07 ; опубл. 10.07.08. – 26 с.
11. **Бухарин, Н. А.** Тормозные системы автомобилей / Н. А. Бухарин. – М. : Машгиз, 1950. – 130 с.
12. **Вонг, Дж.** Теория наземных транспортных средств / Дж. Вонг. – М. : Машиностроение, 1982. – 282 с.
13. **Гредескул, А. Б.** Выбор соотношения тормозных сил на осях седельного тягача и полуприцепа / А. Б. Гредескул // Автомобильная промышленность. – 1963. – № 8. – С. 8–10.
14. **Литвинов, А. С.** Управляемость и устойчивость автомобиля / А. С. Литвинов. – М. : Машиностроение, 1971. – 415 с. : ил.
15. **Ревин, А. А.** Автомобильные автоматизированные тормозные системы. Техническое решение, теория, свойства / А. А. Ревин. – Волгоград : Ин-т качества, 2002. – 320 с.
16. **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.
17. **Чудаков, Д. А.** Основы теории и расчета автомобилей и тракторов / Д. А. Чудаков. – М. : Колос, 1972. – 384 с. : ил.
18. **Мельников, А. С.** Системы активной безопасности двухколесных транспортных средств / А. С. Мельников, В. А. Ким, И. С. Сазонов // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2010. – № 4. – С. 37–45.
19. **Пат. 4778 ВУ, МПК В 60 Т 8 / 00.** Антиблокировочная система мотоцикла / А. С. Мельников [и др.] ; заявитель и патентообладатель Белорус.-Рос. ун-т. – № 20080101 ; заявл. 14.02.08 ; опубл. 30.10.08. – 4 с. : ил.

20. **Сазонов, И. С.** Динамика колесных машин / И. С. Сазонов, П. А. Амельченко, В. А. Ким. – Могилев : Белорус.- Рос. ун-т, 2006. – 461с.

21. **Ким, В. А.** Методология создания адаптивных САБ АТС на основе силового анализа / В. А. Ким. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2003. – 346 с.

22. Тормозные системы колесных машин / И. С. Сазонов [и др.]. – Могилев : Белорус.- Рос. ун-т, 2011. – 351 с.

Статья сдана в редакцию 1 октября 2012 года

Александр Сергеевич Мельников, канд. техн. наук, доц., Белорусско-Российский университет. Тел.: 8-0222-22-11-93.

Игорь Сергеевич Сазонов, д-р техн. наук, проф., Белорусско-Российский университет. Тел.: 8-0222-26-61-00.

Валерий Андреевич Ким, д-р техн. наук, проф., Белорусско-Российский университет. Тел.: 8-0222-26-33-71. E-mail: f_av@bru.mogilev.by.

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

Валерий Иванович Василевский, генеральный директор, ОАО «Могилевоблавтотранс». Тел.: 8-0222-46-72-59. E-mail: abltrans@bru.mogilev.by.

Aleksandr Sergeyevich Melnikov, PhD (Engineering), Associate Prof., Belarusian-Russian University. Tel.: 8-0222 22-11-93.

Igor Sergeyevich Sazonov, DSc (Engineering), Prof., Belarusian-Russian University. Tel.: 8-0222-26-61-00.

Valery Andreyevich Kim, DSc (Engineering), Prof., Belarusian-Russian University. Tel.: 8-0222-26-33-71. E-mail: f_av@bru.mogilev.by.

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

Valery Ivanovich Vasilevsky, General Director, ОАО «Mogilevoblavtotrans». Tel.: 8-0222-46-72-59. E-mail: abltrans@bru.mogilev.by.