

ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УДК 629.13
ББК 39.3
В 19

ВАСИЛЕВСКИЙ
Валерий Иванович

**АЛГОРИТМ БОРТОВОЙ СИСТЕМЫ
МОНИТОРИНГА ПРОЦЕССА ТОРМОЖЕНИЯ СЕДЕЛЬНОГО
АВТОПОЕЗДА НА ОСНОВЕ ИЗМЕРЕНИЯ И АНАЛИЗА
СИЛОВЫХ ФАКТОРОВ**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.05.03 – «Колесные и гусеничные машины»

Могилёв 2013

Работа выполнена в Государственном учреждении высшего профессионального образования «Белорусско-Российский университет»

Научный руководитель: **Ким Валерий Андреевич,**
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры «Техническая
эксплуатация автомобилей»
ГУ ВПО «Белорусско-Российский
университет», г. Могилев

Официальные оппоненты: **Котиев Георгий Олегович,**
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Колесные машины»
Московского государственного технического
университета им. Н. Э. Баумана, г. Москва

Гурский Николай Николаевич,
кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой «Программное
обеспечение вычислительной техники и
автоматизированных систем» Белорусского
национального технического университета,
г. Минск

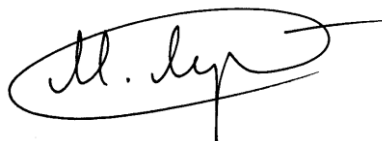
Оппонирующая организация: БелНИИТ «Транстехника», г. Минск

Защита состоится «30» мая 2013 г. в 15⁰⁰ на заседании совета по защите диссертаций Д 02.18.01 в ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет» по адресу: 212000, г. Могилёв, пр. Мира, 43, телефон ученого секретаря 80296875121, e-mail: lustenkov@yandex.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет».

Автореферат разослан «25» апреля 2013 г.

Ученый секретарь
совета по защите диссертаций,
кандидат технических наук, доцент



М. Е. Лустенков

ВВЕДЕНИЕ

Сложность алгоритмов существующих бортовых систем диагностики тормозной системы объясняется их источниками информации. Источниками информации систем диагностики являются датчики угловых скоростей вращения колес АТС, которые также используются в современных автоматических системах управления движением АТС (ABS, ESP и др.). Для создания бортовой системы мониторинга процесса торможения седельного автопоезда (БСМТ АТС) в работе предлагается использовать более информативные источники – это тормозные моменты, фактически реализуемые колесами седельного автопоезда с опорной поверхностью, и силы взаимодействия между его звеньями (силовые факторы). БСМТ АТС необходима для постоянного мониторинга работы колесных тормозов и синхронности срабатывания тормозов звеньев седельного автопоезда, идентификации условий его торможения в наиболее опасном режиме торможения автопоезда – режиме его экстренного торможения. Данная информация необходима для своевременного устранения неисправностей тормозной системы и расследования дорожно-транспортных происшествий. Для решения поставленной задачи разработаны методы измерения тормозных моментов и сил взаимодействия между звеньями седельного автопоезда МАЗ. Созданы и испытаны устройства измерения тормозных моментов для барабанных тормозов и сил взаимодействия между звеньями АТС МАЗ. На основе анализа результатов натурных испытаний макетных образцов устройств измерения тормозных моментов и сил взаимодействия между звеньями седельного автопоезда МАЗ создан алгоритм БСМТ АТС. Алгоритм отслеживает блокировку колес, синхронность срабатывания колесных тормозов, идентифицирует условия торможения на основе анализа силовых факторов. Алгоритм реализован в макетном образце БСМТ АТС МАЗ. Результаты натурных испытаний макетного образца БСМТ на седельном автопоезде МАЗ подтвердили функциональную способность алгоритма и возможность его практической реализации в БСМТ АТС на основе измерения и анализа силовых факторов. Исследования соответствуют приоритетным направлениям научных исследований Республики Беларусь.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами, темами

Исследования выполнялись в ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет» в рамках задания Министерства образования Республики Беларусь (ГБ-3ф, № ГР-2000653, ГБ-027, № ГР 20021603), Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь (Х/Д № 1/0156 от 10.04.2003 г.), ГПНИ «Механика» 1.37, ГБ-0619ф и ГБ-068ф, ГБ-091ф в период с 2006 по 2012 гг.

Цель и задачи исследования

Цель – разработать и апробировать алгоритм бортовой системы мониторинга процесса торможения магистральной АТС (БСМТ АТС), основанный на измерении и анализе тормозных моментов, реализуемых колесами магистральной АТС с опорной поверхностью, и сил взаимодействия между звеньями седельного автопоезда; произвести натурные испытания макетного образца БСМТ АТС, реализующего алгоритм мониторинга процесса торможения на седельном автопоезде МАЗ с целью проверки его функциональной способности.

Для достижения этой цели поставлены следующие задачи исследований:

- сформулировать концепцию создания бортовой системы мониторинга процесса торможения седельного автопоезда (БСМТ АТС), основанную на анализе силовых факторов;
- разработать математическую модель ударного нагружения шкворня седельного автопоезда при запаздывании срабатывания тормозов полуприцепа и программу его моделирования на ПЭВМ с целью оценки его деформаций для создания электронных датчиков измерения сил;
- разработать методы измерения тормозных моментов и сил взаимодействия между звеньями седельного автопоезда; создать и испытать макетные образцы устройств на седельном автопоезде МАЗ;
- разработать алгоритм бортовой системы мониторинга процесса торможения седельного автопоезда МАЗ на основе измерения и анализа тормозных моментов и сил взаимодействия между звеньями автопоезда;
- создать и испытать макетный образец БСМТ АТС МАЗ для проверки функциональной способности его алгоритма.

Объект исследования – седельный автопоезд МАЗ.

Предмет исследования – бортовая система мониторинга процесса торможения седельного автопоезда на основе измерения и анализа силовых факторов.

Положения, выносимые на защиту:

- концепция создания бортовой системы мониторинга процесса торможения седельного автопоезда, основанной на измерении и анализе силовых факторов;
- математическая модель ударного нагружения шкворня седельного автопоезда при запаздывании срабатывания тормозов полуприцепа и программа ее моделирования на ПЭВМ, позволяющая определить деформации шкворня, необходимые для проектирования датчиков измерения сил;
- способы измерения тормозных моментов и сил взаимодействия между звеньями седельного автопоезда, макетные образцы устройств измерения тормозных моментов и сил взаимодействия между звеньями автопоезда МАЗ и результаты их натурных испытаний на седельном автопоезде МАЗ;
- алгоритм макетного образца БСМТ АТС, позволяющий оценить каче-

ство функционирования и синхронность срабатывания тормозов звеньев автопоезда, идентифицировать условия торможения седельного автопоезда.

Личный вклад соискателя

Соискателем совместно с научным руководителем сформулирована концепция создания бортовой системы мониторинга процесса торможения седельного автопоезда на основе анализа силовых факторов. При личном участии соискателя разработан алгоритм БСМТ АТС, созданы и испытаны макетные образцы источников информации БСМТ АТС: устройство измерения тормозных моментов и устройство измерения сил в сцепке седельного автопоезда МАЗ, электронный блок БСМТ АТС, реализующий алгоритм мониторинга процесса торможения седельного автопоезда. Соискатель выражает благодарность ст. преподавателям кафедры ЭП и АПУ Белорусско-Российского университета Г. В. Бочкареву, В. Н. Шаркову за огромную работу по созданию и испытанию макетных образцов датчиков измерения тормозных моментов и сил в шкворне седельно-сцепного устройства седельного автопоезда МАЗ.

Основными соавторами опубликованных работ по теме диссертации являются: ст. преподаватель Г. В. Бочкарев, канд. техн. наук О. В. Билык, д-р техн. наук В. А. Ким, д-р техн. наук Л. Г. Красневский, канд. техн. наук Н. А. Коваленко, д-р техн. наук И. С. Сазонов, д-р техн. наук А. Т. Скойбеда и др. По результатам совместных исследований опубликовано 10 статей и получено 2 патента РБ и 1 патент РФ.

Апробация результатов диссертации

Основные положения диссертационной работы и результаты исследований докладывались на следующих конференциях:

- Современные технологии, материалы, машины и оборудование : Международ. науч.-техн. конф. / Могилев. гос. техн. ун-т. – Могилев, 14–16 апр. 2002 г.;
- Современные технологии, материалы, машины и оборудование : Международ. науч.-техн. конф. / Могилев. гос. техн. ун-т. – Могилев, 18–21 апр. 2002 г.;
- Энергосберегающие технологии и технические средства в сельскохозяйственном производстве : Международ. науч.-техн. конф. – Могилев, 12–13 июня 2008 г.;
- Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : Международ. науч.-техн. конф. – Могилев, 22–23 апр. 2010 г.;
- Инновация в машиностроении–2012 : Международ. науч.-техн. конф., посвященная 55-летию ОИМ НАН Беларуси. – Минск, 17–19 окт. 2012 г.;
- Петербургской технической ярмарке. – СПб., 12–14 марта 2013 г. Экспонат системы управления торможением седельного автопоезда, включающий устройство измерения тормозных моментов и сил в шкворне седельного автопоезда (награжден золотой медалью).

Опубликованность результатов

По теме диссертации опубликовано 17 статей (3,1 авторского листа), в

том числе 4 статьи, рекомендованные ВАК Республики Беларусь, 10 статей в сборниках научных трудов и в материалах научно-технических конференций. Получено 2 патента РБ и 1 патент РФ.

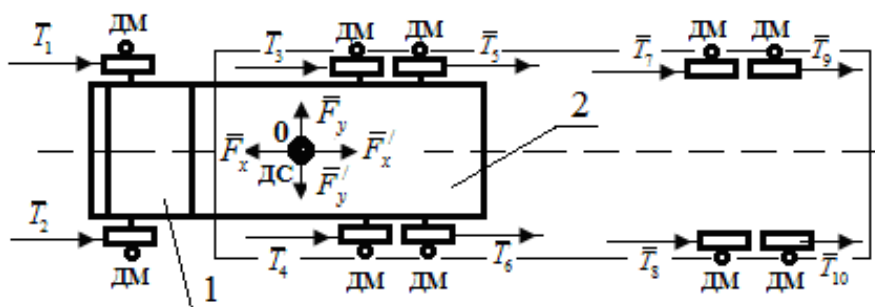
Структура и объем диссертации

Диссертация содержит 100 страниц основного текста, 97 рисунков и 3 таблицы. Диссертация включает введение, общую характеристику работы, четыре главы, заключение, список использованных источников из 98 наименований, список научных трудов соискателя из 17 наименований и приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении изложена актуальность диссертационной работы, направленной на создание бортовой системы мониторинга процесса торможения магистральной АТС, осуществляющей контроль качества функционирования тормозной системы автопоезда.

Первая глава посвящена анализу существующих методов диагностики тормозов и разработке концепции создания бортовой системы мониторинга процесса торможения магистральной АТС и формулировке задач исследований, основанных на анализе результатов фундаментальных исследований П. А. Амельченко, Ю. Б. Беленького, Н. В. Богдана, В.П. Бойкова, В. В. Гуськова, А. И. Гришкевича, Д. А. Дубовика, Г. О. Котиева, В. А. Кима, М. С. Льянова, Г. И. Мамити, Я. Н. Нефедьева, А. Т. Скойбеды, И. С. Сазонова, В. П. Тарасика, А. А. Полунгяна, А. А. Ревина, О. С. Руктешеля, А. К. Фрумкина, Schafer Thomas, С. Howard, Н. Wilkins, G. Gory, С. Tanguy, W. Limpert, Н. Leiber, Kink Wenner и многих других ученых. Концепция создания БСМТ АТС основана на использовании информации о силовых факторах. Схема размещения источников информации БСМТ АТС – датчиков измерения тормозных моментов на каждом колесе АТС и сил в сцепном устройстве автопоезда – представлена на рисунке 1.



1 – тягач; 2 – полуприцеп; ДМ – датчик измерения фактически реализуемых колесом тормозных моментов; ДС – датчик измерения сил в шкворне седельно-сцепного устройства в четырех направлениях

Рисунок 1 – Схема размещения датчиков измерения тормозных моментов

и сил в тягово-цепном устройстве седельного автопоезда

Вторая глава посвящена теоретическому исследованию ударного нагружения шкворня седельно-цепного устройства АТС МАЗ, возникающего при запаздывании срабатывания тормозов полуприцепа. В результате исследования были определены расчетные силы, действующие на шкворень АТС МАЗ, которые были использованы для проектирования датчиков измерения сил в сцепке АТС МАЗ. Установлено, что при ударном нагружении шкворня АТС МАЗ при определенных начальных углах между продольными осями тягача и автопоезда возникает опасность складывания звеньев автопоезда. При запаздывании срабатывания тормозов полуприцепа при торможении автопоезда на криволинейной траектории наибольшие боковые реакции возникают у колес передней оси тягача МАЗ. Процесс ударного нагружения шкворня АТС МАЗ условно разбивался на четыре этапа. Первый этап характеризуется высокой скоростью нарастания ударной силы на шкворень. Второй этап – формированием моментов в тормозных механизмах полуприцепа. Третий этап соответствует переходному процессу, в котором формируемый момент превышает момент, который реализуется колесами, вследствие чего происходит скольжение контактов колес тягача относительно опорной поверхности, т.е. блокировка колес, приводящая к снижению коэффициентов сцеплений колес с опорной поверхностью. Четвертый этап характеризуется полным нарушением кинематической связи колес с опорной поверхностью, а реализуемый колесами тормозной момент стабилизируется на некотором определенном значении («юз» колес). При значениях коэффициента сцепления $\varphi_{сц} = 0,7...0,8$ величина тормозного момента близка к формируемому тормозному моменту. Условие, исключаящее складывание звеньев автопоезда, определяется постоянством разности курсовых углов продольных осей тягача и полуприцепа: $|\varphi_2 - \varphi_1| = const$, где φ_1, φ_2 – курсовые углы тягача и полуприцепа.

Установлено, что модуль силы, направленный вдоль продольной оси тягача, при начальной скорости торможения $V = 60$ км/ч может создать модули боковых реакций колес передней оси тягача МАЗ, превышающие более чем в 3,5 раза силы сцепления колес по условиям их сцепления с опорной поверхностью. Следствием возникновения значительных боковых реакций колес является складывание звеньев автопоезда.

Расчеты проводились при следующих исходных данных: коэффициент сцепления колес $\varphi_{сц} = 0,7$, угол между продольными осями тягача и полуприцепа $\varphi = 3^\circ$, время запаздывания срабатывания тормозов полуприцепа $\Delta t = 0,2$ с, полная масса груженого полуприцепа $G = 25700,0$ кг, материал пальца – конструкционная сталь, предел текучести $\sigma_T = 620$ МПа, предел прочности при растяжении $\sigma_s = 723$ МПа, модуль Юнга $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа, коэффициент Пуассона $\mu = 0,28$, модуль сдвига $G = 7,9 \cdot 10^4$ МПа. Результаты моделирования показали (рисунок 2), что наибольшее напряжение наблюдается в области галтели шкворня,

а его максимальная деформация превышала 0,058 мм. Проф. В. А. Кимом установлено, что процесс скольжения пятна контакта характеризуется отрицательным знаком производных от тормозных моментов. Данная закономерность может быть использована в САБ АТС, а для разработки алгоритма мониторинга процесса торможения седельного автопоезда, необходимы признаки, отличающие его служебное торможение от экстренного. Способы идентификации экстренного торможения от служебного торможения автопоезда разработаны на основе анализа вторых и первых производных от тормозных моментов по времени. Для создания алгоритма бортовой системы мониторинга процесса торможения седельного автопоезда был проведен анализ результатов натурных испытаний макетных образцов устройств измерения тормозного момента и сил взаимодействия между звеньями автопоезда МАЗ.

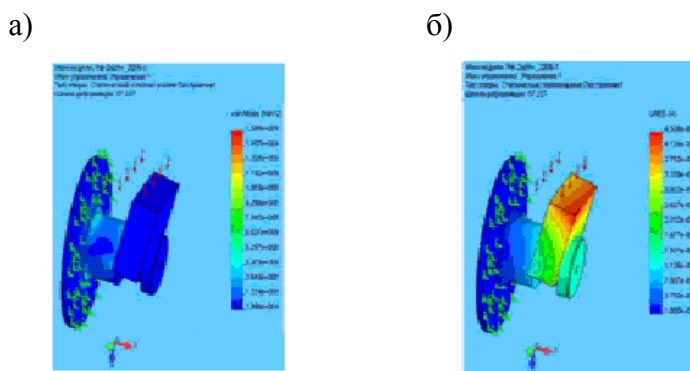


Рисунок 2 – Интенсивность напряжений (а) и поля деформаций шкворня седельно-цепного устройства при его ударном нагружении (б)

В третьей главе изложены методы измерения тормозных моментов и сил взаимодействия между звеньями седельного автопоезда МАЗ. Разработаны способы

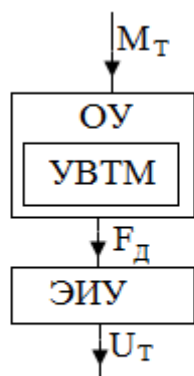


Рисунок 3- Блок – схема способа измерения тормозного момента

способы включения электронных датчиков в штатные конструкции тормозных механизмов и в конструкции шкворня седельно-цепного устройства АТС МАЗ. Созданы и испытаны макетные образцы устройств измерения тормозных моментов.

Проведены стендовые испытания устройств измерения тормозных моментов и сил в сцепке. Установлено, что выходные электрические сигналы от датчиков измерения моментов и сил пропорциональны тормозным моментам и силам в сцепке. При проектировании датчиков сил и моментов были использованы известные индукционные преобразователи с ферромагнитными сердечниками.

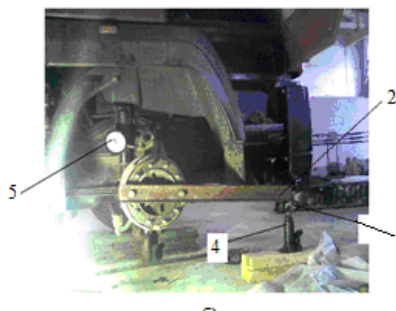
Общая структурная схема способа измерения тормозного момента представлена на рисунке 3 (ОУ – опорное устройство эле-

мента тормоза (опорная пластина барабанного тормоза, суппорт тормозных колодок дискового тормоза и т. д.), УВТМ – устройство, воспринимающее фактически реализуемый колесом тормозной момент, ЭИУ – электронно-измерительное устройство). На рисунке 4 представлен монтаж электронного датчика в штатной конструкции барабанного тормоза МАЗ–544018-320-030.

а)



б)



1 – оси колодок тормоза с электронным датчиком; 2 – нагрузочный рычаг; 3 – динамометр сжатия; 4 – домкрат; 5 – манометр давления воздуха в приводе тормоза

Рисунок 4 – Монтаж электронных датчиков в поворотных осях колодок барабанного тормоза автомобиля МАЗ–544018-320-030 (а) и приспособления для тарировки (б)

На рисунке 5 представлены поворотные оси колодок барабанного тормоза автомобиля МАЗ–544018-320-030, включающие электронные датчики измерения сил. На рисунке 6 представлен график изменения тормозного момента барабанного тормоза в зависимости от изменения давления в пневмоприводе тормоза автомобиля МАЗ–544018-320-030.



Рисунок 5 – Поворотные оси колодок тормоза, включающие электронные датчики МАЗ-544018-320-030

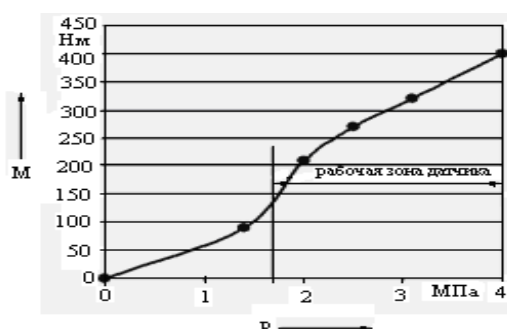


Рисунок 6 – Изменение тормозного момента от давления в пневмоприводе автомобиля МАЗ-544018-320-030

На рисунке 6 отмечена рабочая зона датчика, в которой изменение тормозного момента в зависимости от давления в пневмоприводе автомобиля МАЗ-544018-320-030 имеет линейный характер. Устройство измерения сил в сцепке АТС МАЗ предусматривает измерение сил в двух продольных и в двух

поперечных направлениях относительно продольной оси тягача. Датчики измерения сил в сцепке базируются на остове тягача для определения составляющих сил, направленных вдоль продольной и поперечных осей тягача. Базирование датчика на тягаче позволяет определение равнодействующей силы в сцепке автопоезда. На рисунке 7, а представлен шкворень седельно-сцепного устройства, выполненный с фланцем его крепления к полуприцепу, включающий электронный датчик измерения сил в сцепке в двух продольных и в двух поперечных направлениях. На рисунке 7, б представлен монтаж шкворня на полуприцепе МТМ 9330. Статическая тарировка датчика измерения сил в шкворне производилась с помощью специально разработанного устройства. График изменения выходного напряжения от электронного датчика представлен на рисунке 8.

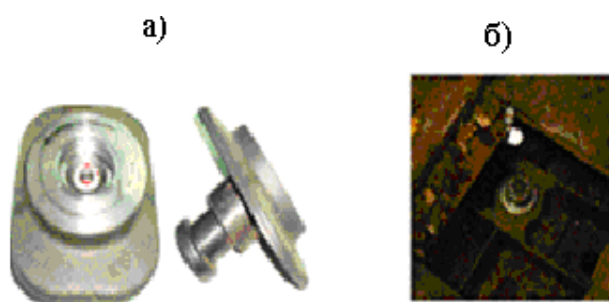


Рисунок 7 – Шкворень сцепного устройства с датчиком сил, монтаж шкворня в сцепном устройстве седельного автопоезда МАЗ-64229+МТМ 9330

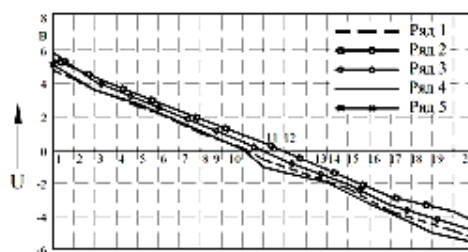


Рисунок 8 – Изменение выходного напряжения от электронного датчика шкворня в зависимости от прикладываемой силы

Для снижения концентрации напряжений в переходных галтелях шкворня поверхность крепления пальца в гнезде полуприцепа выполнена с конусностью (конусность не более 1:10). При этом величина локальных напряжений снижается на 12,6 %, а минимальный коэффициент запаса по пределу текучести материала повышается на 3,2 %. Анализ результатов стендовых испытаний устройств измерения тормозного момента и сил в сцепке показал, что электрические сигналы от датчиков пропорциональны тормозным моментам и силам в шкворне. Дрейф опорных сигналов не превышал 0,1 %.

Четвертая глава посвящена разработке алгоритма БСМТ АТС путем проведения натурных испытаний устройств измерения тормозных моментов и сил взаимодействия между звеньями на седельном автопоезде МАЗ и анализу полученных результатов. В качестве объектов испытаний были использованы седельный автопоезд МАЗ-64229+МТМ 9330 (рисунок 9, а) и автомобиль-тягач МАЗ-544018-320-030 (рисунок 9, б). На рисунке 10 представлены измерительная аппаратура и макетный образец БСМТ АТС, высокочастотный блок питания (20 кГц) датчиков измерения моментов и сил взаимодействия между звень-

ями автопоезда.

Методика испытаний предусматривала торможение АТС с различными начальными скоростями по разным опорным поверхностям и по различным траекториям. Также были апробированы варианты экстренного торможения с отключенными тормозами полуприцепа для оценки эффекта «наезда» полуприцепа на тягач.

а)



б)

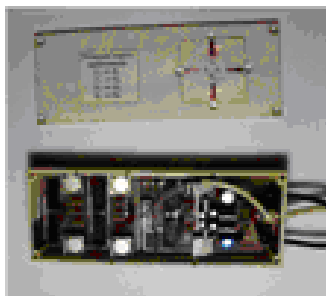


Рисунок 9 – Объекты испытаний: автопоезд МАЗ-64229 + МТМ 9330 и тягач МАЗ-544018-320-030

а)



б)



в)



Рисунок 10 – Измерительная аппаратура в кабине тягача (а), макетный образец бортовой системы диагностики (б), генератор питания датчиков (в)

На рисунке 11 представлена осциллограмма записи изменения тормозного момента на переднем колесе тягача МАЗ-544018-320-030 при торможении по мокрому асфальту. Анализ результатов измерений тормозных моментов при экстренном торможении АТС показал, что существует регулярная закономерность изменения тормозного момента. Изменение происходит таким образом, что блокировка тормозящего колеса отмечается спадом тормозного момента. Данная идентификация блокировки колес при торможении не зависит от условий сцепления колес и может быть использована в алгоритме БСМТ АТС для оценки качества функционирования тормозов. Бортовая система мониторинга осуществляет оценку работы тормоза при экстренном торможении седельного автопоезда по блокировке колес АТС.

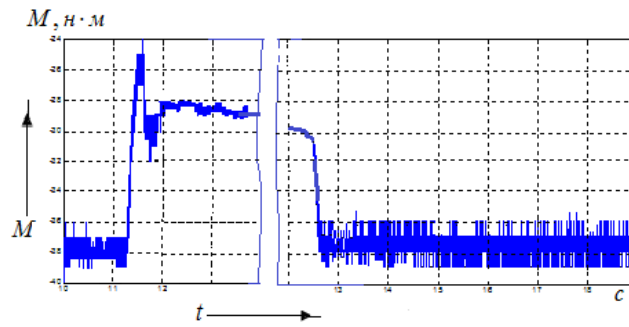


Рисунок 11 – Осциллограмма изменения тормозного момента на колесе передней оси тягача МАЗ-544018-320-030 при экстренном торможении (мокрый асфальт, начальная скорость торможения 30 км/ч)

Идентификация блокировки колес при экстренном торможении осуществляется по отслеживанию следующих условий (см. рисунок 11):

$$\frac{d^2 M_i}{dt^2} = 0; \quad \frac{dM_i}{dt} = 0.$$

Отсутствие этих условий означает служебное торможение АТС (рисунок 12). В процессе анализа блокировок колес производится сравнение отрезков времени блокировок колес. При $\Delta t_i > t_T$, где t_T – время срабатывания тормозного привода (по паспорту завода-изготовителя), алгоритм фиксирует неисправность i -го тормоза.

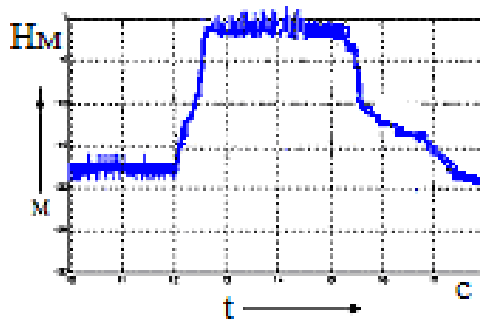


Рисунок 12 – Осциллограмма изменения тормозного момента на колесе передней оси тягача МАЗ-544018-320-030 при служебном торможении (мокрый асфальт, начальная скорость торможения 30 км/ч)

Алгоритм диагностики процесса торможения магистральной АТС идентифицирует условие торможения «микст» (μ -split). Условие «микст» возникает при различной разности коэффициентов сцепления по бортам автомобиля (разность до 30 %). Условие «микст» идентифицируется по условию

$$\frac{\sum M_{i,l}^{\delta,T,\Pi} - \sum M_{i,n}^{\delta,T,\Pi}}{\sum M_{i,l}^{\delta,T,\Pi} + \sum M_{i,n}^{\delta,T,\Pi}} \cdot 100 \% \geq 30 \%,$$

где $\sum M_{i,l}^{\delta,T,\Pi}$, $\sum M_{i,n}^{\delta,T,\Pi}$ – суммарные тормозные моменты по бортам тягача и полуприцепа.

Скольжение контактов колес тягача при запаздывании тормозов полуприцепа сопровождалось возникновением отрицательных производных сил в сцепке:

$$\frac{dF_{x,y}}{dt} < 0; \quad \frac{dF'_{x,y}}{dt} < 0.$$

Опасные значения разворачивающих моментов, действующих на тягач и полуприцеп при испытаниях, идентифицировались появлением световой индикации на блоке БСМТ АТС.

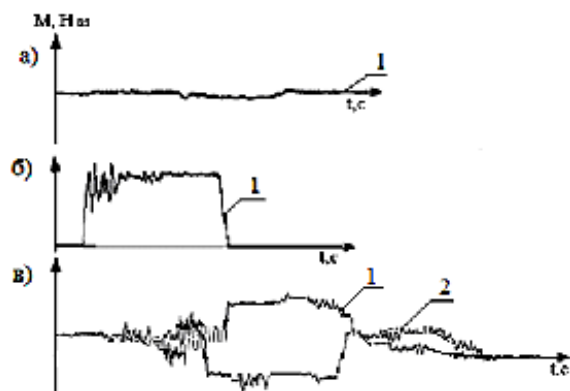
Устройство измерения сил в сцепном устройстве базируется на платформе тягового устройства тягача автопоезда, что позволяет определить направление равнодействующей силы в сцепке. Критерием опасного запаздывания тормозов полуприцепа является условие

$$R = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \leq G_T \cdot \varphi_{cy \min},$$

где G_T – вес тягача; $\varphi_{cy \min}$ – минимальный коэффициент сцепления колеса с дорогой, $\varphi_{cy \min} = 0,3$.

При выполнении этого условия БСМТ АТС информирует о возможной угрозе складывания звеньев автопоезда АТС при экстренном торможении седельного автопоезда. Данный критерий диагностики включен в алгоритм макетного образца БСМТ АТС.

Пороговые значения времени быстрогодействия тормозов устанавливаются заводом-изготовителем. На рисунке 13 представлены осциллограммы записи изменения сил взаимодействия в тягово-сцепном устройстве седельного автопоезда МАЗ-64229 + МТМ 9330. Анализ осциллограмм изменения сил в сцепном устройстве показал, что при прямолинейном движении автопоезда боковые силы в сцепке отсутствуют (см. рисунок 13, а). Следовательно, признаком прямолинейного движения автопоезда может служить отсутствие боковых сил в сцепке. Данный признак может быть использован в алгоритме БСМТ АТС. При экстренном торможении седельного автопоезда с отключенными тормозами полуприцепа наблюдалась значительная скорость нарастания продольной силы в сцепном устройстве. Такое нарастание является результатом ударного воздействия полуприцепа на тягач («наезд» полуприцепа на тягач). Торможение АТС по криволинейной траектории всегда сопровождалось возникновением боковых сил в сцепке автопоезда.



а – изменение поперечной силы в сцепке при прямолинейном торможении автопоезда;
 б – изменение продольной силы в сцепке при экстренном прямолинейном торможении автопоезда с отключенными тормозами полуприцепа; в – изменение продольной и поперечной силы в сцепке при торможении АТС по криволинейной траектории

Рисунок 13 – Осциллограммы записи изменений сил в сцепке АТС МАЗ при его торможении

Причем идентифицировать торможение АТС по криволинейной траектории можно путем расчета угла между продольными осями тягача и полуприцепа:

$$\alpha = \arctg \frac{F_y}{F_x},$$

где F_y, F_x – составляющие сил в сцепке автопоезда вдоль продольной оси и в направлении, перпендикулярном к ней. Знаки сил указывают ориентацию направления действия равнодействующей силы R .

На рисунке 14 представлена осциллограмма записи тормозного момента на колесе при экстренном торможении тягача МАЗ-544018-320-030 с включенной антиблокировочной системой (АБС).

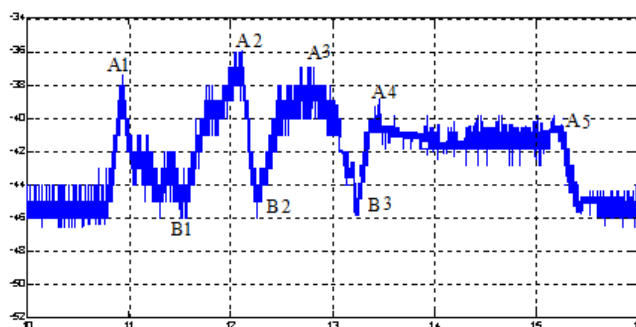


Рисунок 14 – Осциллограмма записи изменения тормозных моментов на колесе тягача МАЗ-544018-320-030 при экстренном торможении с АБС (мокрый гравий, начальная скорость торможения 15 км/ч)

Характерным признаком работы АБС тягача МАЗ-544018-320-030 является возникновение нескольких экстремумов тормозных моментов (точки А2,

А3, А4 на рисунке 14), указывающих на работу АБС при блокировке тормозящего колеса. В результате разблокировки колеса, осуществляемой АБС, происходит спад тормозного момента (точки спада тормозного момента В1, В2, В3 на рисунке 14).

Из осциллограммы, представленной на рисунке 14, следует, что с помощью устройства измерения тормозных моментов можно произвести оценку качества функционирования алгоритма любой АБС. Однако данная задача не входила в настоящие исследования.

Алгоритм бортовой системы мониторинга процесса торможения магистральной АТС (БСМТ АТС) представлен на рисунке 15.

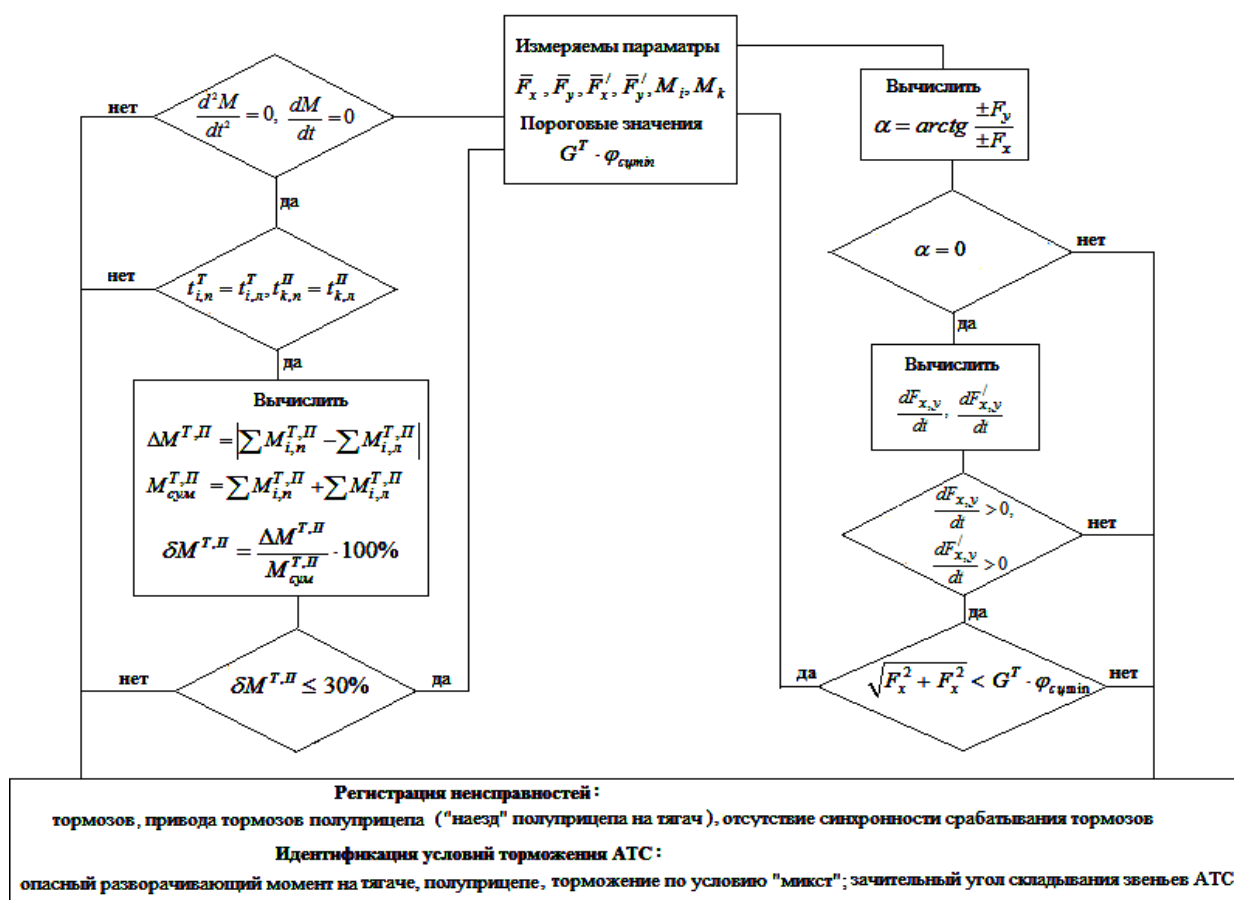


Рисунок 15 – Алгоритм бортовой системы мониторинга процесса торможения седельного автопоезда (БСМТ АТС)

Алгоритм БСМТ АТС осуществляет:

- оценку качества функционирования тормоза по его блокировке колес, которая идентифицируется равенством нулю второй и первой производных от тормозных моментов;
- оценку синхронности срабатывания тормозов путем сравнения отрезков времени блокировки колес АТС, которые не должны превышать заданного порогового значения, равного времени срабатывания тормозного привода;

- оценку синхронности срабатывания звеньев автопоезда путем сравнения сил в сцепке с заведомо заданным пороговым значением, равного силе сцепления колес тягача с опорной поверхностью при минимальном значении коэффициента сцепления ($\varphi_{\min} = 0,2$);
- идентификацию разворачивающих моментов и условий сцепления колес по бортам тягача и полуприцепа путем определения моментов, разворачивающих тягача и полуприцеп;
- идентификацию относительного положения звеньев автопоезда в процессе торможения путем расчета угла между продольными осями тягача и полуприцепа на основе измерения составляющих сил в сцепке.
- идентификацию условия торможения «микст» (μ -split), вызывающего возникновение значительных разворачивающих моментов звеньев автопоезда.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Разработан алгоритм оценки качества функционирования колесных тормозов, идентифицирующий блокировку колес при экстренном торможении автопоезда на основе равенства нулю первой и второй производных от тормозных моментов. Экспериментальные исследования подтвердили, что отсутствие указанных признаков блокировки характеризует неисправность колесного тормоза [1–3, 7, 9–11, 13–16].

2. Экспериментально-теоретическими исследованиями установлено, что оценку синхронности срабатывания колесных тормозов автопоезда можно осуществить путем сравнения отрезков времени при которых достигается блокировка колес в заданном пороговом значении времени. Значение заданного порогового времени не должно превышать 0,25 с (время срабатывания пневмопривода, 0,2 с) [1, 2, 4, 5, 9, 10, 14–16].

3. Результатами теоретических и экспериментальных исследований доказано, что идентификацию «наезда» полуприцепа на тягач можно осуществить путем сравнения модуля силы в сцепке с заданным пороговым ее значением. Пороговое значение силы в сцепке не должно превышать силу сцепления колес тягача с опорной поверхностью при коэффициенте сцепления $\varphi_{\text{сц}\min} = 0,2$. Сила сцепления для тягача МАЗ при заданном коэффициенте сцепления составляет 1,2 Кн. [3, 6, 7, 8, 10–12, 15–17].

4. Установлено, что идентификацию условия «микст» (μ -split) можно отслеживать по отрицательным знакам производных тормозных моментов и сил в сцепке. Отношение разности тормозных моментов по бортам звеньев автопоезда к суммарному тормозному моменту не должно превышать 30 %, что соответ-

ствует торможению звеньев автопоезда по условию «микст» [2, 3, 6–8, 11, 13, 14].

5. Разработан алгоритм идентификации относительного положения звеньев автопоезда при торможении, который основан на расчете угла между продольными осями тягача и полуприцепа с помощью данных измерения составляющих сил в сцепном устройстве автопоезда. Анализ сравнения угла между продольными осями тягача и полуприцепа в конце торможения по криволинейной траектории радиусом 130 м с начальной скорости торможения по сухому асфальту 40 км/ч (угол составил 12°) с расчетным углом показал, что погрешность расчета не превысила 4 % [3, 14].

6. Для мониторинга процесса торможения седельного автопоезда МАЗ разработаны устройства измерения тормозных моментов и сил взаимодействия между звеньями автопоезда, выдающие электрические сигналы, пропорциональные тормозным моментам и силам в сцепке. Устройства обладают свойствами нормированных измерительных устройств. Установлено, что дрейф опорных выходных электрических сигналов от электронных датчиков устройств измерения не превышал 0,1 % [11, 12, 15–17].

Новизна технических решений подтверждена 2 патентами Республики Беларусь (пат. 9589 РБ, С1 МПК (2006) В 60 Т 8/00, В 60 Т 8/52 от 11.08.04 г., пат. 15383 РБ, МПК F16D 55/00 от 30.10.12 г. и 1 патентом Российской Федерации (пат. 2299140 РФ, МКИ⁶ В 60 Т С 1 от 20.05.07 г.).

Ожидаемый экономический эффект от использования результатов исследований составит 450 000 белорус. р. на один седельный автопоезд за счет экономии затрат на проведение его беговых испытаний, проводимых после каждой замены или ремонта элементов тормозной системы (акт Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь). Устройства измерения тормозных моментов и сил взаимодействия между звеньями автопоезда могут быть использованы при создании и доводке новых тормозных механизмов (2 акта филиала завода МАЗ Могилевского завода «Трансмаш»).

Рекомендации по практическому использованию результатов

1. Устройства измерения сил в шкворне и тормозных моментов седельного автопоезда МАЗ рекомендуются к использованию для оценки эффективности новых тормозных механизмов при проведении их натуральных испытаний (два акта по результатам исследований переданы филиалу завода МАЗ Могилевского завода «Трансмаш»).

2. Макетного образца бортовой системы мониторинга процессом торможения седельного автопоезда могут быть рекомендованы при создании перспективных бортовых систем мониторинга торможением автопоездов (акт по результатам исследований передан Министерству транспорта и коммуникации Республики Беларусь).

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В научных изданиях, рекомендованных ВАК

1. **Мельников, А. С.** Алгоритм системы активной безопасности двухколесной мобильной машины / А. С. Мельников, И. С. Сазонов, В. А. Ким, О. В. Билык, В. И. Василевский // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2012. – № 4. – С. 40–50.
2. **Василевский, В. И.** Концепция создания бортовой системы диагностики тормозов магистральной АТС / В. И. Василевский // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2013. – № 1. – С. 11–17.
3. **Василевский, В. И.** Алгоритм бортовой диагностики тормозов магистральной АТС / В. И. Василевский // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2013. – № 1. – С. 5–10.
4. **Василевский, В. И.** Структуры управления тормозами АТС с АБС и оценка их эксплуатационных качеств / В. И. Василевский // Вестн. МГТУ. – 2003. – № 1. – С. 31–33.
5. **Сазонов, И. С.** Управление движением колесных машин на основе измерения и анализа силовых факторов / И. С. Сазонов, В. А. Ким, П. А. Амельченко, Д. А. Дубовик, В. И. Василевский // Механика машин, механизмов и материалов. – 2012. – № 3. – С. 177–188.

Статьи и доклады в сборниках научных трудов и в материалах научно-технических конференций

6. **Сазонов, И. С.** Диссипация кинетической энергии мобильной машины при ее торможении / И. С. Сазонов, Н. А. Коваленко, В. А. Ким, Е. А. Моисеев, В. И. Василевский // Теория и практика машиностроения. – 2004. – № 3. – С. 10–14.
7. **Ким, В. А.** Особенности экстренного торможения седельного автопоезда / В. А. Ким, И. С. Сазонов, А. Т. Скойбеда, В. Д. Рогожин, О. В. Билык, В. И. Василевский, Ю. С. Романович // Теория и практика машиностроения. – 2004. – № 3. – С. 51–55.
8. **Ким, В. А.** Силовые взаимодействия звеньев магистральной АТС при его торможении / В. А. Ким, Н. А. Коваленко, В. И. Василевский // Современные технологии, материалы, машины и оборудование : материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 16–17 мая 2002 г. – Могилев : МГТУ, 2002. – С. 320.
9. **Василевский, В. И.** Перспективы создания оборудования для комплексной диагностики тормозной системы магистральных АТС / В. И. Василевский, В. А. Ким, Н. А. Коваленко // Современные технологии, материалы, ма-

шины и оборудование : материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 16–17 мая 2002 г. – Могилев : МГТУ, 2002. – С. 305–306.

10. **Василевский, В. И.** Возможности синхронизации тормозных моментов на осях магистральных АТС / В. И. Василевский, В. А. Ким, Г. А. Колосов, Н. А. Коваленко // Современные технологии, материалы, машины и оборудование : материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 16–17 мая 2002 г. – Могилев : МГТУ, 2002. – С. 60–64.

11. **Билык, О. В.** Измерение сил в контакте колес автотранспортных средств с опорной поверхностью / О. В. Билык, В. И. Василевский, А. А. Метто, Е. А. Моисеев // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 20–21 апр. 2006 г. : в 2 ч. – Могилев : Беларус.-Рос. ун-т, 2006. – Ч. 2. – С. 8–10.

Разделы в монографиях

12. **Василевский, В. И.** Схемотехническая реализация электронного датчика измерения тормозного момента / В. И. Василевский // Динамика колесных машин / И. С. Сазонов [и др.] ; под ред. И. С. Сазонова. – Могилев, 2006. – Подраздел 9.5. – С. 373–388.

13. **Василевский, В. И.** Моделирование процесса торможения седельного автопоезда / В. И. Василевский // Динамика колесных машин / И. С. Сазонов [и др.] ; под ред. И. С. Сазонова. – Могилев, 2006. – Подраздел 10.2. – С. 411–415.

14. **Василевский, В. И.** Уравнение движения автопоезда в обобщенных координатах / В. И. Василевский // Динамика колесных машин / И. С. Сазонов [и др.] ; под ред. И. С. Сазонова. – Могилев, 2006. – Пункт 8.9.1 – С. 311–319.

Патенты

15. **Пат. 2299140 РФ, МПК6 В 60 Т 8/52, В 60 Т 8/1763.** Способ регулирования торможением автопоезда / И. С. Сазонов, А. Т. Скойбеда, В. И. Василевский, Г. В. Бочкарев, В. В. Корсаков, Н. А. Коваленко, В. А. Ким, И. И. Цыганков, Л. Г. Красневский, В. В. Сикорский, В. Д. Рогожин ; заявитель и патентообладатель Беларус.-Рос. ун-т. – № 2005132206/11 ; заявл. 18.10.05 ; опубл. 20.05.07 // БИ / Федеральная служба по интеллектуальной собственности. – 2007. – Бюл. № 14. – 5 с.

16. **Пат. 9589 Респ. Беларусь, МПК7 В 60 Т 8/00, В 60 Т 8/52.** Способ регулирования торможением автопоезда / И. С. Сазонов, В. А. Ким, А. Т. Скойбеда, В. И. Василевский, Г. В. Бочкарев, В. В. Корсаков, Н. А. Коваленко, И. И. Цыганков, Л. Г. Красневский, В. В. Сикорский, В. Д. Рогожин ; заявитель и патентообладатель Беларус.-Рос. ун-т – № а20041020 ; заявл. 11.08.04; опубл. 19.04.07 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2007. – Бюл. № 4. – 4 с.

17. Пат. 15383 Респ. Беларусь, МПК7 G 01 B 7/14, G 01 B 7/24, G 01 L 7/12. Устройство для измерения деформации шкворня тягово-сцепного устройства седельного автопоезда / В. А. Ким, Г. В. Бочкарев, И. С. Сазонов, Г. С. Леневский, А. Т. Скойбеда, Н. Г. Мальцев, В. В. Корсаков, Н. Ф. Пекарь, В. И. Василевский ; заявитель и патентообладатель Беларус.-Рос. ун-т – № а20071463 ; заявл. 21.10.05, опубл. 30.10.12 // Афіцыйны бюл. / Нац. центр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – Бюл. № 5. – 4 с.

РЭЗІЮМЭ

Васілеўскі Валерый Іванавіч

Алгарытм бартавой сістэмы маніторынгу працэсу тармажэння седлавага аўтацягніка на аснове вымярэння і аналізу сілавых фактараў

Ключавыя словы: крыніцы першаснай інфармацыі, крытэрыі ацэнкі якасці функцыянавання тармазоў, ідэнтыфікацыя якасці функцыянавання тармазоў, знакі вытворных момантаў, тармажныя моманты, сінхроннасць работы тармазоў, магістральная АТС.

Аб’ект даследавання – седлавы аўтацягнік МАЗ (магістральны АТС МАЗ).

Мэтай працы з’яўляецца стварэнне алгарытму бартавой сістэмы маніторынгу працэсу тармажэння магістральнай АТС (БСМТ АТС) на аснове вымярэння тармажных момантаў, фактычна рэалізаваных коламі з апорнай паверхняй дарогі, і сіл узаемадзеяння паміж звенамі аўтацягніка, які ажыццяўляе:

- ацэнку якасці функцыянавання тармазоў шляхам адсочвання блакіровак колаў АТС пры тармажэнні;
- кантроль сінхроннасці дзейнічання тармазоў АТС шляхам параўнання адрэзкаў часу блакіровак колаў АТС пры тармажэнні;
- спазненне дзейнічання тармазнога прывада паўпрычэпа шляхам параўнання сіл у счэпцы з парогавай, заведама зададзенай сілай, устаноўленай зыходзячы з мінімальнай сілы счэплення колаў цягача;
- маніторынг узнікнення небяспечных момантаў, якія разварочваюць цягач і паўпрычэп, шляхам аналізу вынікаў разліку рознасці момантаў па бартах цягача і паўпрычэпа;
- маніторынг становішча звёнаў аўтацягніка ў працэсе тармажэння шляхам разліку вуглоў паміж падоўжнымі восямі цягача і паўпрычэпа, заснаваных на выніках вымярэння састаўляючых сіл у счэпцы АТС;
- маніторынг умоў працэсу тармажэння шляхам аналізу рознасці момантаў па бартах цягача і паўпрычэпа.

РЕЗЮМЕ

Василевский Валерий Иванович

Алгоритм бортовой системы мониторинга процесса торможения седельного автопоезда на основе измерения и анализа силовых факторов

Ключевые слова: источники первичной информации, критерии оценки качества функционирования тормозов, идентификация качества функционирования тормозов, знаки производных моментов, тормозные моменты, синхронность срабатывания тормозов, магистральная АТС.

Объект исследования – седельный автопоезд МАЗ (магистральная АТС МАЗ).

Целью работы является создание алгоритма бортовой системы мониторинга процесса торможения магистральной АТС (БСМТ АТС) на основе измерения тормозных моментов, фактически реализуемых колесами с опорной поверхностью дороги, и сил взаимодействия между звеньями автопоезда, осуществляющего:

- оценку качества функционирования тормозов путем отслеживания блокировок тормозящих колес АТС;
- контроль синхронности срабатывания тормозов АТС путем сравнения отрезков времени блокировок тормозящих колес АТС;
- запаздывание срабатывания тормозного привода полуприцепа путем сравнения сил в сцепке с пороговой, заранее заданной силой, установленной исходя из минимальной силы сцепления колес тягача;
- мониторинг возникновения опасных моментов, разворачивающих тягач и полуприцеп путем анализа результатов расчета разности моментов по бортам тягача и полуприцепа;
- мониторинг положения звеньев автопоезда в процессе торможения путем расчета углов между продольными осями тягача и полуприцепа, основанных на результатах измерения составляющих сил в сцепке АТС;
- мониторинг условий процесса торможения путем анализа разности моментов по бортам тягача и полуприцепа.

SUMMARY

Vasilevsky Valery Ivanovich

Algorithm design of the braking monitoring on-board system of the linehaul train

Keywords: sources of the raw information, criteria of quality estimation of operation of brakes, quality identification of operation of brakes, signs of derivative moments, braking torques, synchronism of operation of brakes, linehaul train.

Test subject – MAZ road train (MAZ linehaul train).

The aim of the work is algorithm design of the braking monitoring on-board system of the linehaul train based on braking torque measuring, implemented practically by the wheels - and - road bearing surface and interacting forces between the road train parts. The system:

- estimates the quality of operation of the brakes by tracing the locking of the braking wheels of the vehicle;
- monitors synchronism of operation of brakes of the vehicle by comparing time of blocking of the braking wheels of the vehicle;
- monitors braking lag of the semi-trailer by comparing forces in the coupling to the threshold one, given beforehand, which is chosen according to the minimal traction force of the wheels of the tractive vehicle;
- monitors occurrence of dangerous situations of veering both the tractive unit and the semi-trailer by analyzing the results of calculation the difference of moments on the sides of the tractive unit and the semi-trailer;
- monitors the position of the units of the articulated lorry while braking by calculating the angles between longitudinal axes of the tractive unit and the semi-trailer, based on measurement data of components of force in the coupling of the vehicle;
- monitors the conditions of braking by analyzing the difference of moments on the sides of the tractive unit and the semi-trailer.

ВАСИЛЕВСКИЙ
Валерий Иванович

**АЛГОРИТМ БОРТОВОЙ СИСТЕМЫ
МОНИТОРИНГА ПРОЦЕССА ТОРМОЖЕНИЯ СЕДЕЛЬНОГО
АВТОПОЕЗДА НА ОСНОВЕ ИЗМЕРЕНИЯ И АНАЛИЗА
СИЛОВЫХ ФАКТОРОВ**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.05.03 – «Колесные и гусеничные машины»

Подписано в печать 18.04.2013. Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать трафаретная. Усл.-печ. л. 1,4. Уч.-изд. л. 1,5. Тираж 120 экз. Заказ № 316.

Издатель и полиграфическое исполнение
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«Белорусско-Российский университет»
ЛИ № 02330/0548519 от 16.06.2009.
Пр. Мира, 43, 212000, Могилев.