

**Учреждение образования
«Белорусский государственный университет транспорта»**

На правах рукописи
УДК 629.4.077

**ГАЛАЙ
Елена Эдуардовна**

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ
АВТОМАТИЧЕСКИХ РЕГУЛЯТОРОВ
РЕЖИМОВ ТОРМОЖЕНИЯ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.22.07 – Подвижной состав железных дорог,
тяга поездов и электрификация

Гомель 2018

Работа выполнена в Учреждении образования «Белорусский государственный университет транспорта»

Научный руководитель **Сенько Вениамин Иванович**, доктор технических наук, профессор, начальник Испытательного центра железнодорожного транспорта «СЕКО» Белорусского государственного университета транспорта

Официальные оппоненты **Шимановский Александр Олегович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Техническая физика и теоретическая механика» Белорусского государственного университета транспорта

Жданович Чеслав Иосифович, кандидат технических наук, доцент кафедры "Тракторы" Белорусского национального технического университета

Оппонирующая организация Проектно-конструкторское бюро вагонного хозяйства – филиал открытого акционерного общества «Российские железные дороги» (Россия, г. Москва)

Защита состоится 16 марта 2018 года в 14⁰⁰ на заседании совета по защите диссертаций Д 02.27.01 при Учреждении образования «Белорусский государственный университет транспорта» по адресу: 246650, г. Гомель, ул. Кирова, 34, ауд. 102.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке Белорусского государственного университета транспорта.

Автореферат разослан 14 февраля 2018 г.

Учёный секретарь
совета по защите диссертаций
доктор технических наук



А. В. Путято

ВВЕДЕНИЕ

Требования безопасности движения и сохранности перевозимых грузов выдвигают условия, при обеспечении которых должны достигаться наибольшая эффективность торможения и минимальная величина продольных динамических сил в поезде. Эффективность тормозных средств локомотива и вагонов определяется длиной тормозного пути, на которую оказывают влияние темп роста и величина давления сжатого воздуха в тормозных цилиндрах.

Повышение объемов перевозок и скоростей движения железнодорожного подвижного состава требуют использования такой системы торможения вагонов с различной загрузкой, которая бы обеспечивала равенство удельных тормозных сил всех единиц подвижного состава на протяжении всего процесса торможения, что позволяет снизить до минимума продольные силы в поезде, причем тормозная сила не должна превышать силу сцепления колес с рельсами. Такие условия могут быть обеспечены при автоматическом регулировании силы нажатия фрикционных тормозных элементов в зависимости от их типа и осевой нагрузки вагона, для чего применяются автоматические регуляторы грузовых режимов торможения (авторежимы).

Научная задача по обоснованию рациональной конструкции авторежима для различных видов грузового подвижного состава является сложной и многофакторной, в полном объеме в настоящее время не решена. Кроме того, на железных дорогах стран СНГ и Прибалтики имеется проблема повышения надежности авторежимов в соответствии с требованиями к современным тормозным системам грузовых вагонов. Поэтому исследования тормозных систем поездов, связанные с усовершенствованием авторежимов, востребованы в настоящее время.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами и темами

Тема диссертации соответствует приоритетным направлениям научно-технической деятельности в Республике Беларусь на 2016–2020 годы, утвержденным Указом Президента Республики № 166 от 22 апреля 2015 г., п. 3 «Промышленные и строительные технологии и производство» в части производства железнодорожной техники, скоростных и высокоскоростных транспортных систем и коммуникаций, технологии транспортной безопасности, и приоритетным направлениям научных исследований Республики Беларусь на 2016–2020 годы, утвержденным Постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 190 от 12 марта 2015 г., п. 7 «Системы и комплексы машин».

Научные исследования по теме диссертации выполнялись в рамках заданий ГПОФИ «Надежность и безопасность» – «Разработка и обоснование приемов и методологии повышения эффективности и надежности систем торможения электроподвижного состава железнодорожного транспорта по критериям оптимальной тепловой нагруженности», 2005, № ГР 2002471; ГКПНИ «Механика» – «Разработка усовершенствованной схемы регулирования тормозной силы в зависимости от скорости для однопроводной тормозной системы пассажирских вагонов», № ГР 20063124, 2010; ГПНИ «Механика, техническая диагностика, металлургия» – «Увеличение эффективности тормозных систем пассажирских вагонов с целью повышения безопасности движения в процессе эксплуатации», 2014, № ГР 20111889; по заданию МПС России в рамках НИР «Автоматический переключатель грузовых режимов торможения. Создание макетного образца», 1997, № ГР 19972734; «Автоматический переключатель грузовых режимов тормоза. Создание макетного образца», 1998, № ГР 19983130; по заданию Белорусской железной дороги – «Исследование способов регулирования тормозной силы в зависимости от загрузки и повышение эффективности торможения грузового вагона с авторежимом», 2003, № ГР 20023430; «Разработка и обоснование приемов и методологии повышения эффективности и надежности систем торможения грузовых и пассажирских вагонов и способов их технического обслуживания и ремонта», 2004, № ГР 20032525; «Исследование условий работы грузовых авторежимов с временным контактом регистрирующего узла на вагонах-цистернах для перевозки доломитовой муки», 2007, № ГР 20064996; по заданию ГП «Харьковский машиностроительный завод «ФЭД» (Украина) – «Теоретическое обоснование выбора градуировочной характеристики авторежима 265-4М для вагонов нового поколения с увеличенным прогибом рессорного подвешивания с целью внедрения в «Укрзалізниця» и ОАО «Российские железные дороги», 2008.

Цели и задачи исследования

Цель исследования – повышение эффективности торможения грузовых вагонов путем совершенствования автоматических регуляторов грузовых режимов торможения на основе анализа газодинамических и тепловых процессов в тормозной системе вагона.

Для достижения поставленной цели решены следующие *задачи*:

- расчет параметров газодинамических процессов, проходящих в пневматических тормозных системах грузовых вагонов при различных осевых нагрузках;
- определение тепловой нагруженности фрикционного узла тормоза при автоматическом регулировании тормозных нажатий;

- обоснование методов регулирования тормозной силы грузовых вагонов в зависимости от загрузки;
- исследование зависимости давления в тормозных цилиндрах грузового вагона с чугунными или композиционными колодками, оборудованного авторежимом, от его загрузки;
- разработка предложений по совершенствованию автоматических регуляторов режимов торможения с целью повышения эксплуатационной надежности.

Объектом исследования являются тормозные системы грузовых вагонов с автоматическими регуляторами режимов торможения, предназначенными для регулировки давления в тормозных цилиндрах в зависимости от загрузки вагонов.

Научная новизна

- впервые получено аналитическое решение задачи о нахождении зависимости давления в тормозном цилиндре от загрузки вагона, являющееся основой для дальнейшего расчета регулировочной характеристики авторежима;
- создана модель газодинамических процессов в тормозной системе грузового вагона, позволяющая определить время повышения давления в тормозном цилиндре и выпуска воздуха из него с учетом времени и процесса срабатывания воздухораспределителя;
- разработана математическая модель взаимодействия обода колеса и тормозной колодки при торможении поезда, позволяющая оценить температуру контактирующих тел.

Положения, выносимые на защиту

1 Зависимость времени наполнения и опораживания тормозного цилиндра от параметров тормозного процесса в случае неустановившегося течения воздуха в каналах воздухораспределителя, авторежима и тормозной магистрали при торможении и отпуске на основе анализа газодинамических процессов в управляющем и силовом контурах пневматической тормозной системы вагона.

2 Математическая модель фрикционного узла «колодка–колесо», позволяющая оценить температуру в зоне контакта тормозной колодки и обода колеса в процессе нарастания тормозной силы и последующего её снижения при уменьшении скорости движения поезда, что дает возможность нахождения предельной силы нажатия по тепловой нагрузке.

3 Регулировочная характеристика автоматического регулятора грузовых режимов торможения, представленная в виде аналитической зависимости между давлением в тормозных цилиндрах и величиной загрузки вагона при различных параметрах тормозного процесса.

4 Обоснование выбора параметров авторежимов, использующих системы с временным контактом деталей измерительного узла или их адаптивной связью, которые позволяют снизить риск возникновения дефектов деталей измерительного устройства и повысить надежность авторежима.

Личный вклад соискателя

Все основные результаты, представленные в диссертации, получены автором лично. Совместно с научным руководителем д. т. н., профессором Сенько В. И. осуществлялись выбор направлений исследования и анализ полученных результатов. На основе предложенных автором моделей газодинамических процессов в тормозной системе и взаимодействия колеса и колодки при торможении совместно с сотрудниками Отраслевой научно-исследовательской лаборатории «Тормозные системы подвижного состава» БелГУТа (ОНИЛ ТСПС) разработаны варианты модернизации конструкции авторежима, подготовлены и проведены эксперименты на тормозной станции университета и в вагонных депо Белорусской ж. д.

Апробация результатов диссертации

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на V Белорусском конгрессе по теоретической и прикладной механике (г. Минск, 2011); IV и VI Международных симпозиумах по трибофатике (г. Тернополь, 2002; г. Минск, 2010); международных научно-практических и научно-технических конференциях: «Актуальные проблемы развития транспортных систем» (г. Гомель, 1998, 2001); «Железнодорожный транспорт сегодня и завтра» (Россия, г. Екатеринбург, 1998); «Актуальные проблемы развития транспортных систем и строительного комплекса» (г. Гомель, 2001); «Подвижной состав железнодорожного транспорта» (г. Гомель, 2004); «Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса» (г. Гомель, 2013); «Проблемы безопасности на транспорте» (г. Гомель, 1997, 2000, 2002, 2005, 2012, 2015, 2017). Образцы автоматических регуляторов, созданные в процессе выполнения работы, прошли испытания в вагонных депо Гомель и Витебск в процессе опытной эксплуатации на Белорусской железной дороге.

Публикации

По теме диссертации опубликовано 27 печатных работ, из них 6 статей общим объемом 3,3 авторских листа в журналах, включенных в перечень ВАК, 11 статей в сборниках научных трудов и материалах конференций, 5 тезисов докладов на международных научно-технических и научно-практических конференциях, 3 учебных пособия (2 из них с грифом Министерства образования РБ), получено 2 патента на изобретения.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав основной части, заключения, библиографического спис-

ка и приложений. Общий объем работы составляет 164 страницы, в том числе библиографический список на 9 страницах (108 наименований, включая 27 публикаций соискателя), 32 рисунка и 1 таблицу на 16 страницах, 12 приложений на 42 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе выполнен анализ литературы по теме диссертации.

Большинство известных исследований пневматических тормозных систем, выполненных П. Т. Гребенюком, А. Ф. Гориным, В. Г. Иноземцевым, В. В. Крыловым, В. Е. Поповым, П. К. Рудовым и другими учеными, посвящено анализу процессов в тормозной магистрали (ТМ) поезда.

Изучением эффективности тормозов, её зависимости от осевой нагрузки и скорости движения при различных типах тормозных колодок занимались такие известные ученые, как П. С. Анисимов, Л. А. Вуколов, П. Т. Гребенюк, В. Г. Иноземцев, В. М. Казаринов. В их работах отмечается, что максимальная тормозная сила должна быть близка к величине силы сцепления колес с рельсами, но не превышать её. Для тормозов грузовых и пассажирских вагонов характерно наличие значительного запаса тормозной мощности по условию безюзового торможения. Например, среднее за период экстренного торможения использование запаса по сцеплению для грузовых поездов не превышает 0,43 при чугунных колодках и 0,55 – при композиционных, что ведет к увеличению тормозного пути и связано со значительным расхождением реальных величин коэффициента сцепления колес с рельсами с расчетным коэффициентом для конкретных условий торможения [1, 12, 22].

Величина допускаемой силы нажатия тормозной колодки зависит от загрузки вагона, которая в процессе эксплуатации может изменяться в значительных пределах. Поэтому в тормозных системах предусматривают устройства, позволяющие изменять силу нажатия колодок при изменении загрузки вагона. Требуемое значение силы нажатия обеспечивается величиной давления в тормозных цилиндрах, которое устанавливается воздушным распределителем.

Воздухораспределители грузовых вагонов на дорогах США имеют только один грузовой режим, то есть величина давления сжатого воздуха, поступающего в тормозные цилиндры, не зависит от загрузки вагона. Поэтому тормозные пути груженых поездов в несколько раз больше, чем порожних, и могут достигать 4–5 км [16, 17]. На подвижном составе железных дорог стран СНГ широко применяются воздухораспределители грузового типа № 483 различных модификаций, которые обеспечивают изменение величины давления сжатого воздуха в тормозных цилиндрах при

установке режимного переключателя на гружёный, средний или порожний режимы в соответствии с загрузкой вагона.

Анализ ступенчатого изменения силы нажатия тормозных колодок продемонстрировал его основные недостатки – значительную разницу в величине удельной тормозной силы для вагонов с различной загрузкой, низкий уровень использования запаса по сцеплению при торможении полногрузных вагонов и вагонов с промежуточной величиной загрузки, которые приводят к возникновению дополнительных продольных динамических сил в неоднородных поездах, сформированных из вагонов с неодинаковой загрузкой. Ещё один важный недостаток связан с необходимостью ручного переключения режимов торможения. Поэтому в настоящее время на грузовых вагонах стран СНГ применяются авторежимы № 265А-1 и № 265А-4. Однако в их конструкции имеется особенность, которая заведомо влечет снижение надежности в эксплуатации при неблагоприятных условиях – постоянный контакт деталей измерительного устройства.

Изучением вопросов регулирования тормозной силы в зависимости от загрузки и созданием различных типов авторежимных устройств занимались В. Р. Асадченко, Н. В. Бондаренко, Э. И. Галай, М. И. Глушко, А. В. Казаринов, Е. В. Клыков, В. В. Крылов, П. К. Рудов, М. А. Спицын, В. А. Юдин и другие ученые стран СНГ. Известны работы специалистов США Henry C. Christic по грузовым вагонам и Greg Gagarin по пассажирским, Польши R. Marczewski, A. Orlik, Чехии J. Kubec и др. В настоящее время исследования в данной области носят, в основном, практический характер, направленный на совершенствование существующих приборов.

На основании проведенного анализа недостатков существующих методов и средств регулирования тормозной силы вагонов в зависимости от осевой нагрузки сделан вывод о целесообразности разработки теории газодинамических и тепловых процессов в тормозных системах, которая представляет собой базу для создания автоматического регулятора, обеспечивающего изменение величины давления в тормозном цилиндре и силы нажатия тормозных колодок во всем диапазоне загрузок вагона.

В главе 2 выполнено аналитическое исследование процессов изменения давления в тормозной системе с учетом времени распространения тормозной волны по длине поезда при работе авторежимов при различных идеализациях и допущениях, упрощающих реальные газодинамические процессы без существенной потери точности.

Оценка газодинамических процессов в тормозной системе вагона производилась по наибольшей допустимой величине давления в ТЦ, поскольку в таком случае можно оценить работоспособность тормозной системы.

Воздухораспределители типа № 483 работают на основе изменения давления сжатого воздуха в тормозной магистрали поезда определенным

темпом и на определенную величину. Распространение тормозной волны происходит со скоростью 250–300 м/с при разрядке темпом от 0,006 до 0,06 МПа/с на глубину не менее 0,03 МПа в условиях некоторой стохастичности конструктивных характеристик и входных параметров [26, 27].

Давление в тормозном цилиндре (ТЦ) и тормозной камере (ТК) воздухораспределителя зависит от перемещения уравнительного поршня и режима загрузки (сжатия режимных пружин). Если вагон оборудован авторежимом, камера ТК связана с тормозным цилиндром через авторежим (рисунк 1).

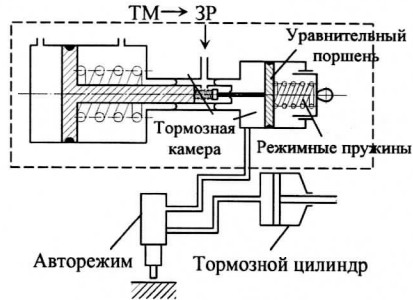


Рисунок 1 – Схема поступления воздуха в тормозной цилиндр при торможении

Неустановившееся течение воздуха в каналах воздухораспределителя, авторежима и в ТМ поезда при торможении и наполнении тормозного цилиндра можно рассматривать на основании уравнения одномерного потока идеального газа при начальном условии $p(x, 0) = p_a$,

$$\frac{\partial p}{\partial x} + \rho \frac{\partial v}{\partial t} + \rho \frac{v \partial v}{\partial x} = -\lambda \rho \frac{v^2}{4r}, \quad (2)$$

где p_a – атмосферное давление, Па; p – давление в каналах воздухораспределителя и ТМ, Па; ρ – плотность воздуха, кг/м³; x – координата рассматриваемого положения поршня ТЦ, м; v – скорость потока, м/с; t – время, с; λ – коэффициент сопротивления перемещению поршня; r – газодинамический радиус воздуховода, м.

При торможении и наполнении ТЦ через авторежим из запасного резервуара (ЗР), подпитываемого из ТМ, для адиабатного процесса уравнение Бернулли (уравнение энергии) имеет вид

$$\frac{v_2^2 - v_1^2}{2} = \frac{k p_{ц}}{(k-1) \rho_1} \left[1 - \left(\frac{p_m}{p_{ц}} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right], \quad (3)$$

где v_1, v_2 – скорость движения воздуха в различные моменты времени, м/с; k – показатель адиабаты, для воздуха $k = 1,403$; ρ_1 – плотность воздуха, поступающего в ТЦ, кг/м³; $p_{ц}$ – давление в ТЦ, Па; p_m – давление в ТМ и связанном с ней запасном резервуаре, Па.

На основании формул Г. М. Боровского, полученных из уравнения расхода воздуха через калиброванное отверстие, определено время Δt_i повышения давления в тормозном цилиндре при его наполнении через авторежим от $P_{ц(i-1)}$ до P_w [8, 9]:

– в начале наполнения при надкритическом истечении воздуха, когда $\beta_i = \frac{P_w}{P_{ц}} \leq 0,528$ и величина расхода остается постоянной,

$$\Delta t_i = \frac{0,0861V_{ц}}{\mu f \sqrt{T} P_w} (P_w - P_{ц(i-1)}); \quad (4)$$

– для подкритического истечения при $\beta_i = \frac{P_w}{P_{ц}} > 0,528$,

$$\Delta t_i = \frac{0,1548V_{ц}}{\mu f \sqrt{T}} \left(\sqrt{1 - \beta_{i-1}^{0,291}} - \sqrt{1 - \beta_i^{0,291}} \right), \quad (5)$$

где $V_{ц}$ – объем тормозного цилиндра, изменяется в процессе наполнения от 0 до $V_{раб}$, м³; μf – эффективное проходное сечение питательного клапана авторежима, м²; μ – коэффициент расхода воздуха, для величины повышения давления в ТЦ до 0,5 МПа (изб.) $\mu = 0,5-0,6$; f – площадь поперечного сечения калиброванного отверстия, м², T – абсолютная температура в ЗР и ТМ (температура окружающей среды), К.

Аналогично получены формулы для времени истечения воздуха из тормозного цилиндра при отпуске.

В результате испытаний установлено, что абсолютная разница во времени наполнения тормозных цилиндров хвостового вагона и локомотива в длинносоставном поезде может составлять до 40 % [1, 14].

В главе 3 изучается тепловая нагруженность фрикционного узла «колodka–колесо» при торможении с авторежимом, когда обеспечивается равномерное повышение силы нажатия тормозных колодок.

Современные воздухораспределители замедляют наполнение тормозных цилиндров в головной части состава, чтобы уравнивать время срабатывания тормозов по длине поезда. Характеристики процесса наполнения тормозных цилиндров определяют величину удельной тормозной силы, снижение скорости поезда и тормозной путь.

Удельная тормозная сила в момент времени t при одностороннем нажатии тормозных колодок на колесо, Н/кг,

$$b_T(t) = \frac{K(t)\varphi_k(t)n_o}{q_o}, \quad (6)$$

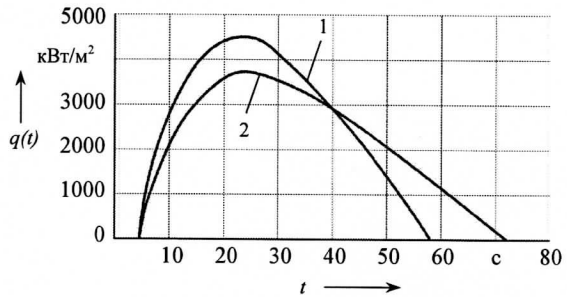
где $K(t)$ – сила нажатия колодки при запуске тормоза, Н; $\varphi_k(t)$ – коэффициент трения колодки, соответствующий скорости $v(t)$, n_o – число колодок на оси колесной пары, q_o – осевая нагрузка вагона, кг/ось.

Интенсивность тепловыделения (плотность теплового потока) (рисунок 2)

$$q(t) = \frac{b(t)v(t)q_o}{n_o A_o}, \quad (7)$$

где A_o – площадь трения тормозной колодки, м².

При разработке математической модели для определения плотности теплового потока (далее – тепловой поток) принято, что тепловой поток $q(t)$ нелинейно возрастает от нуля до максимума при наполнении тормозных цилиндров сжатым воздухом. После повышения давления



1 – груженный режим воздухораспределителя; 2 – средний режим

Рисунок 2 – Интенсивность тепловыделения во фрикционном узле при композиционных колодках

в ТЦ до максимума скорость поезда и тепловыделение уменьшаются до 0 [5].

Процесс нагревания элементов фрикционного узла при торможении вагона зависит от многих случайных факторов. Расчет тепловой нагруженности колесных пар вагона при торможении необходимо вести для конкретных условий в случае экстренного или полного служебного торможения по параметрам, определяющим развитие тормозной силы одиночного вагона.

При торможении в колодку направлен поток $q_1(t)$, в обод колеса – $q_2(t)$. Можно предположить, что замедленное наполнение тормозных цилиндров обеспечивает более легкий тепловой режим фрикционного узла, поскольку часть тепла (тепловой поток $q_3(t)$) удаляется в атмосферу и распределяется по ободу колеса, что уменьшает тепловой поток $q_2(t)$.

Величину каждого теплового потока можно установить следующим образом:

$$q_1(t) = \alpha_p q(t), \quad (8)$$

$$q_2(t) = (1 - \alpha_p) q(t), \quad (9)$$

$$q_3(t) = \alpha'(t) [\vartheta_2(0, t) - \vartheta_c], \quad (10)$$

где α_p – часть теплового потока, направленная в колодку (коэффициент распределения тепловых потоков), зависит от характеристик материала тормозной колодки; $\alpha'(t)$ – коэффициент теплоотдачи, Вт/м³·град; $\vartheta_2(0, t)$ – температура поверхности катания колеса в момент времени t , °С; ϑ_c – температура окружающей среды, °С.

В условиях запуска тормоза значением $q_3(t)$ пренебрегаем, так как время запуска мало по сравнению с временем торможения грузового вагона.

Одной из причин изменения тормозной силы и коэффициента трения является изменение жесткости колодок по мере их износа. По мере приработки увеличивается фактическая площадь трения и, соответственно, уменьшается давление [2, 4, 13].

Одномерный нагрев обода колеса линейно возрастающим тепловым потоком $q_2(t)$ моделируется краевой задачей

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \vartheta_2}{\partial t} &= a_2 \frac{\partial^2 \vartheta_2}{\partial z_2^2}; \\ -\lambda_2 \frac{\partial \vartheta_2(0, t)}{\partial z_2} &= kt; \\ \frac{\partial \vartheta_2(\infty, t)}{\partial z_2} &= 0; \\ \vartheta_2(\infty, t) &= \vartheta_c, \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

где a_2 – коэффициент температуропроводности материала колеса; z_2 – глубина прогрева колеса (расчетная) за время t , м; λ_2 – коэффициент теплопроводности материала колеса, Вт/м·град; k – угловой коэффициент,

определяющий вид зависимости $q_2(t)$, $k = (1 - \alpha_p) \frac{q(t)}{t}$.

Решение краевой задачи (12) дает следующее температурное поле [5]

$$\vartheta_2(z_2, t) = \vartheta_c + \frac{10^3 n_k q_2(t) K_{вз}}{\lambda_2} \sqrt{\frac{a_2 t}{\pi}} \operatorname{ierfc} \frac{z_2}{n_k \sqrt{a_2 t}}, \quad (12)$$

где n_k – число тормозных колодок, действующих на колесо; $K_{вз}$ – коэффициент взаимного перекрытия (колодка – обод колеса); ierfc – кратный

интеграл функции ошибок, в процессе повышения давления в тормозном цилиндре и силы нажатия прогрет обода колеса будет незначительным,

поэтому $\operatorname{ierfc} \frac{z}{n_{\text{кк}} \sqrt{a_2 t}} \approx 1$.

Тогда температура поверхности катания колеса [5]

$$g_2(0, t) = g_c + \frac{n_k q_2(t) K_{\text{вз}}}{\lambda_2} \sqrt{\frac{a_2 t}{\pi}}, \quad (13)$$

Полученные формулы позволяют определить предельные значения температуры, которые следует учитывать при разработке средств автоматического регулирования для ограничения силы нажатия тормозных колодок.

В главе 4 определена зависимость основных параметров торможения при регулировании авторежимом тормозной силы в зависимости от осевой загрузки вагона по условию равенства удельных тормозных сил – реализуемой $b_T(v)$ и допускаемой по условию безюзового торможения [6, 7, 19, 21, 27]

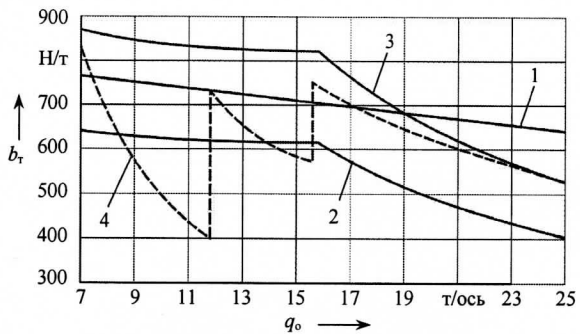
$$b_T(v) = k_{\text{сп}} [b_T(v)], \quad (14)$$

где $k_{\text{сп}}$ – предельное значение коэффициента использования запаса по сцеплению, учитывающего динамику изменения нагрузки колесных пар и её перераспределение в результате действия инерционных сил в процессе торможения, а также амплитуду стохастических колебаний величины коэффициента сцепления колеса с рельсом.

При фиксированных значениях скорости v_i аналитическая зависимость для расчета значений удельной тормозной силы имеет вид (рисунок 3):

– удельная тормозная сила, допускаемая по условиям сцепления, Н/кг, –

$$[b_{Ti}] = g \psi_{ki} k_{\text{сп}}; \quad (15)$$



1 – допускаемая по сцеплению; 2 – при действии авторежима, воздушный распределитель на среднем режиме; 3 – то же, воздушный распределитель на груженом режиме; 4 – при ступенчатом переключении режимов

Рисунок 3 – Зависимость удельной тормозной силы грузового вагона от нагрузки на ось при композиционных колодках типа ТИИР-300

– удельная тормозная сила, реализуемая при торможении, Н/кг, –

$$b_{тi} = \frac{n_o K \varphi_{ki}}{q_o}, \quad (16)$$

где g – ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$; ψ_{ki} – мгновенные значения коэффициента сцепления колеса с рельсом при данной скорости v_i ; K – фактическая сила нажатия тормозной колодки, Н.

Авторежим должен обеспечивать получение максимальной тормозной эффективности при различной загрузке вагонов. *Регулировочная характеристика авторежима* представляет собой зависимость величины давления в тормозных цилиндрах $p_{ц}$ от осевой загрузки вагона q_o .

Получено [6], что при заданной осевой нагрузке допускаемая сила нажатия с учетом эмпирических коэффициентов $\alpha, \beta, \gamma, c, l, m$

$$[K_i] = \frac{0,5}{\beta n} \left\{ \left[B^2 + \frac{4g\gamma\beta n_o k_{сн} \psi_{ki} q_o (c v_i + l)}{\alpha (m v_i + l)} \right]^{\frac{1}{2}} - B \right\}; \quad (17)$$

$$B = \gamma n_k - \frac{g k_{сн} \psi_{ki} q_o (c v_i + l)}{\alpha (m v_i + l)}. \quad (18)$$

Расчеты показали, что допускаемая по сцеплению сила нажатия превышает силу, допускаемую по удельному давлению во всем диапазоне осевых нагрузок, поэтому при одностороннем нажатии на колесо и принятых значениях φ_k решить проблему регулирования тормозной силы грузовых вагонов по условию безюзового торможения невозможно [2, 11, 15, 22]. Значения действительного коэффициента сцепления колес с рельсами изменяются в значительных пределах ($\psi_k = 0,04 \dots 0,30$), зависят от множества постоянно изменяющихся параметров, поэтому расчетный коэффициент сцепления устанавливается как нормативная величина [12].

Сила нажатия колодки K повышается до максимальной величины за 20–30 с, не меняется в процессе торможения и не зависит от скорости при полном служебном и экстренном торможении.

Расчет регулировочной характеристики производится следующим образом [6, 7, 19, 21, 27]:

1 Определение расчетного коэффициента сцепления и допускаемых по сцеплению значений удельной тормозной силы

$$\psi_k = f_1(q_o, v); [b_{т}] = f_2(q_o). \quad (19)$$

2 Нахождение значения удельного основного сопротивления $w_o^n = f_3(q_o)$ для расчетной скорости или в диапазоне скоростей.

3 Расчет допускаемого значения реализуемой удельной тормозной силы при различной загрузке вагона (вагон порожний; $q_o = 0,5q_{\max}$; $q_o = q_{\max}$).

$$b_r = k - w_{oi}^n = \frac{nK\varphi_k}{q_o} - w_{oi}^n. \quad (20)$$

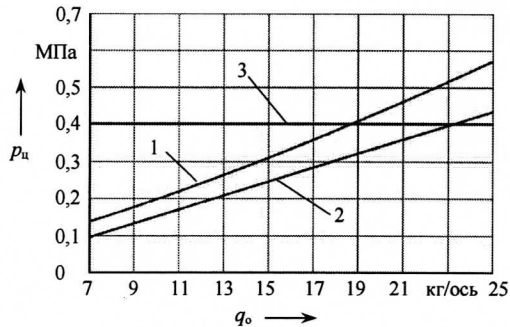
4 Для заданных параметров тормозной системы вагона рассчитывается регулировочная характеристика $p_{ц} = f(q_o)$.

Допускаемая величина давления в тормозных цилиндрах определенного диаметра при данной осевой нагрузке, чугунных или композиционных колодках и соответствующей рычажной передаче на скорости от v_{\max} до 0 [6]

$$[P_{ц}] = \frac{4}{\pi D_{ц}^2 \eta_{ц}} \left[\frac{g \psi_k k_c q_o n_{ц}}{n_o \varphi_k m \eta_m} + P_{пр} + P_{ар} \right], \quad (21)$$

где $D_{ц}$ – внутренний диаметр цилиндра, м; $\eta_{ц}$ – коэффициент, учитывающий потери на трение в ТЦ; $n_{ц}$ – число колодок, действующих от одного цилиндра; n – передаточное число рычажной передачи; $P_{пр}$, $P_{ар}$ – усилие отпускных пружин тормозного цилиндра и авторегулятора рычажной передачи, Н.

Установленная нами аналитическая зависимость допускаемой величины давления в тормозных цилиндрах от осевой нагрузки вагона (21) при определенном коэффициенте трения тормозных колодок, результаты расчета которой представлены на рисунке 4, использована при разработке новых конструкций авторежимов, позволяющих обеспечить равномерное изменение тормозной силы для вагонов с различной загрузкой [18].



1 – давление в тормозном цилиндре при односторонней схеме торможения; 2 – давление в тормозном цилиндре при двухсторонней схеме торможения; 3 – допускаемая величина давления по условию прочности композиционных колодок

Рисунок 4 – Регулировочная характеристика авторежима

В главе 5 представлены материалы, свидетельствующие о проектировании, изготовлении и испытаниях грузовых авторежимов, повышающих эффективность и обеспечивающих высокую надежность тормозной системы грузовых вагонов, выполненных в ОНИЛ ТСПС БелГУТа, которые осуществлены на основе полученных в главах 2–4 результатов [3, 10, 18, 20, 23, 24, 26].

Проведены: разработка и обоснование рациональной структуры и конструкции автоматических регуляторов режимов торможения для всех типов грузовых вагонов, работающих при различной (полной или частичной) нагрузке или в двух состояниях (порожнем и полногрузном); обоснование и количественная оценка параметров авторежима; экспериментальные исследования разработанных конструкций авторежима; разработка рекомендаций по эффективному использованию авторежимов для различных типов вагонов.

Предложена усовершенствованная конструкция двухрежимного автоматического регулятора, рассчитанного на состояния вагона «Порожний» и «Груженный», которая позволяет создать для обоих режимов допустимую силу нажатия тормозных колодок.

Наличие постоянного контакта деталей измерительного узла эксплуатируемых в настоящее время авторежимов приводит к увеличению числа повреждений и выходу их из строя. Поэтому разработаны конструкции авторежимов, позволяющие избежать этого недостатка. Авторежим с гибкой



Рисунок 5 – Авторежим с адаптивным датчиком загрузки

связью, обеспечивающий адаптивный способ измерения величины прогиба рессорного подвешивания (рисунок 5), приспособившаяся к случайным изменениям входных условий в заданных пределах, сохраняет способность выполнять свои функции при постоянстве выходных параметров, что приводит к повышению эффективности его работы [23].

Авторежим с временным контактом деталей измерительного узла, предназначенный для мотор-вагонного подвижного состава, производит измерение прогиба рессорного подвешивания при каждом торможении в отличие от применяемого в эксплуатации авторежима № 605, устанавливающего давление в тормозном цилиндре при заполнении вагона пассажирами на стоянке, число которых может измениться при перемещении по поезду в процессе его движения [24].

Авторежим с временным контактом деталей фиксирующего устройства при первоначальной зарядке тормозной магистрали сжатым воздухом является более эффективным по сравнению с авторежимами семейства № 265. Испытания авторежима на вагоне-цистерне в вагонном депо Витбск (рисунок 6) показали его надежную работу при точном отслеживании загрузки вагона.



Рисунок 6 – Опытный образец авторежима на вагоне-цистерне

Конструкции авторежимов с временным контактом или адаптивной связью исключают возможность заклинивания упора относительно опорной плиты, что может создать повышенную силу нажатия тормозных колодок при порожнем вагоне или уменьшенную при груженом вагоне. Таким образом, снижена вероятность появления неисправностей, которые могут стать причиной увеличения тормозного пути в 1,5 раза и более.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1 На основе анализа параметров газодинамических процессов в тормозной системе грузового вагона показано, что при торможении давление в тормозных цилиндрах грузового вагона с авторежимом определяется глубиной разрядки тормозной магистрали, объемом тормозного цилиндра и загрузкой вагона. С использованием соотношений, определяющих течение воздуха через калиброванное отверстие, получены формулы для нахождения времени наполнения тормозного цилиндра при торможении и выпуска воздуха из него при отпуске в зависимости от темпа изменения давления в тормозной магистрали, а также параметров воздухораспределителя [1, 8, 9, 27].

2 Разработана математическая модель фрикционного узла «колодка-колесо», учитывающая нелинейное возрастание теплового потока от нуля до максимума в процессе наполнения тормозных цилиндров сжатым воздухом. Показано, что конвективная теплоотдача с тыловых сторон фрик-

ционного узла практически отсутствует и при торможениях в нормальных условиях не оказывает существенного влияния на его тепловую нагруженность. На основе решения краевой задачи о распространении тепловых потоков в элементах фрикционного узла получено соотношение, позволяющее определить предельные значения температуры элементов фрикционной пары для установления ограничений по тепловой нагрузке при автоматическом регулировании тормозных нажатий [2, 4, 5, 13, 27].

3 Впервые получены аналитические зависимости для определения параметров авторежима, обеспечивающего точное соответствие тормозной силы загрузке грузового вагона на всех скоростях движения при использовании тормозных колодок, реализующих соответствующие им коэффициенты трения [2, 4]. На их основе получена регулировочная характеристика авторежима, позволяющая установить необходимую силу нажатия тормозных колодок с учетом значения основного сопротивления движению поезда [6, 7, 19, 21, 27].

4 Предложены варианты усовершенствования конструкции авторежимов для грузовых вагонов и мотор-вагонного подвижного состава с использованием временного контакта деталей измерительного узла или их адаптивной связи, исключающие возможность заклинивания деталей измерительного устройства [3, 20, 23, 24, 26]. Результаты тормозных расчетов показали, что длина тормозного пути грузового поезда, оснащенного усовершенствованными авторежимами, сокращается на 5–13 % по сравнению с тормозными системами, не использующими авторежим.

Рекомендации по практическому использованию результатов

На основе моделей газодинамических процессов в тормозной системе и взаимодействия колеса и колодки при торможении в работе представлена теория, позволяющая создавать обоснованные рациональные конструкции автоматических регуляторов для грузовых вагонов и мотор-вагонного подвижного состава, обеспечивающих работоспособность при торможении с любых скоростей при любой осевой нагрузке.

Разработана, обоснована и испытана конструкция авторежима, включающая закрепленный на кузове вагона датчик загрузки с демпферным поршнем, связанный пружиной с неподрессоренной рамой тележки, отличающаяся простотой конструкции демпферного устройства и обеспечивающая повышенную точность устройства в поездных условиях при колебаниях вагона на рессорном подвешивании в процессе торможения [23]. Созданы конструкции авторежима с временным контактом деталей измерительного узла, что позволяет повысить его эксплуатационную надежность при торможении с высокой скорости и в кривых участках пути малого радиуса [24].

Предложенные конструкции автогрузовых регуляторов, защищенные авторскими свидетельствами на изобретения, прошли длительные испытания на Белорусской железной дороге на различных типах грузовых вагонов и могут быть использованы в эксплуатации на железных дорогах колеи 1520 мм.

Результаты работы используются в научных исследованиях, проводимых в Испытательном центре железнодорожного транспорта «СЕКО» и в учебном процессе Белорусского государственного университета транспорта при подготовке инженеров-механиков подвижного и тягового состава [25–27].

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК

1. Галай, Э. И. Эффективность тормозных средств пассажирских вагонов / Э. И. Галай, П. К. Рудов, Е. Э. Галай // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля : науковий журнал. Ч. 1. – 2004. – № 8(78). – С. 88–92.

2. Галай, Э. И. Тормозные колодки для электропоездов: чугунные или композиционные / Э. И. Галай, П. К. Рудов, О. А. Сидорович, Е. Э. Галай // Локомотив. – 2005. – № 6. – С. 34–35.

3. Галай, Э. И. Совершенствование автоматических регуляторов грузовых режимов торможения / Э. И. Галай, Е. Э. Галай // Вагонный парк. – 2007. – № 8. – С. 6–12.

4. Галай, Е. Э. Влияние геометрических характеристик фрикционных элементов на изменение параметров торможения / Е. Э. Галай // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2013. – № 2 (27). – С. 9–11.

5. Галай, Е. Э. Нагрев колес грузовых вагонов при запуске тормоза / Е. Э. Галай // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2014. – № 4(44). – С. 130–135.

6. Сенько, В. И. Оптимизация регулировочной характеристики авторежима / В. И. Сенько, Е. Э. Галай // Механика машин, механизмов и материалов. – 2015. – № 4. – С. 14–19.

Статьи в сборниках научных трудов, материалах конференций

7. Галай, Э. И. Методика расчета рациональной регулировочной характеристики авторежима / Э. И. Галай, Е. Э. Рыжик (Галай) // Совершенствование конструкции, ремонта и обслуживания подвижного состава железных дорог : сб. науч. ст. / Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель, 1998. – С. 40–43.

8. Галай, Э. И. Демпфирование поршня тормозного цилиндра / Э. И. Галай, Е. Э. Галай // Актуальные проблемы развития транспортных систем и строительного комплекса : тр. Междунар. науч.-практ. конф. / Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель, 2001. – С. 58–60.

9. Галай, Е. Э. Периоды и этапы работы силового привода электропневматического фрикционного тормоза / Е. Э. Галай // Трибофатика: тр. IV Междунар. симп. по трибофатике (ISTF 4). В 2 ч. Ч. 2. – Тернополь : Тернопольский гос. техн. ун-т им. И. Пулюя, 2002. – С. 706–709.

10. Галай, Э. И. Испытания авторежимов с временным контактом деталей привода / Э. И. Галай, Н. Л. Тамков, П. К. Рудов, Е. Э. Галай, А. И. Захожий, В. И. Коновалов // Подвижной состав железнодорожного транспорта : материалы Междунар. науч.-практ. конф. / Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2004. – С. 31–36.

11. Галай, Э. И. О тормозной эффективности грузовых вагонов с повышенной осевой нагрузкой / Э. И. Галай, П. К. Рудов, Е. Э. Галай // Трибофатика = Tribo-fatigue : тр. VI Междунар. симп. по трибофатике МСТФ 2010. В 2 ч. Ч. 2. – Минск : БГУ, 2010. – С. 57–60.

12. Галай, Э. И. Повышение реализуемого коэффициента сцепления железнодорожных вагонов / Э. И. Галай, П. К. Рудов, Е. Э. Галай // Механика-2011 : сб. науч. тр. V Белорусского конгресса по теоретической и прикладной механике : в 2 т. / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси ; под ред. М. С. Высоцкого. – Минск, 2011. – Т. 1. – С. 199–204.

13. Галай, Е. Э. Толщина тормозных колодок и эффективность действия тормозов / Е. Э. Галай, Е. С. Галай // Проблемы безопасности на транспорте : материалы VI Междунар. науч.-практ. конф. – Гомель : БелГУТ, 2012. – С. 76.

14. Галай, Э. И. / Исследование процессов торможения и отпуска в грузовых поездах с электровозами БКГ-1 / Э. И. Галай, П. К. Рудов, Е. Э. Галай // Проблемы развития транспортных систем и строительного комплекса : материалы III Междунар. науч.-практ. конф. / Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2013. – С. 11–12.

15. Галай Э. И. О двухстороннем нажатии тормозных колодок на колеса грузового вагона // Э. И. Галай, П. К. Рудов, Е. Э. Галай // Проблемы безопасности на транспорте : материалы VII Междунар. науч.-практ. конф. / Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2015. – С. 26–27.

16. Галай, Э. И. Расчет тормозного пути по методу МСЖД // Э. И. Галай, П. К. Рудов, Е. Э. Галай // Проблемы безопасности на транспорте : материалы VII Междунар. науч.-практ. конф. / Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2015. – С. 27–28.

17. Галай, Э. И. Некоторые особенности тормозов грузовых вагонов в США / Э. И. Галай, П. К. Рудов, Е. Э. Галай // Проблемы безопасности на транспорте : материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф. – Гомель : БелГУТ, 2017. – С. 76.

Тезисы докладов конференций

18. Галай, Э. И. Корректировка технических требований к автоматическим регуляторам грузовых режимов торможения (авторежимам) / Э. И. Галай,

Е. Э. Рыжик (Галай) // Проблемы безопасности на транспорте : тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф. – Гомель : БелГУТ, 1997. – С. 57–58.

19. Рыжик (Галай), Е. Э. Исследование регулировочной характеристики авторежима усл. № 265 при допустимом разбросе параметров тормозной системы грузового вагона / Е. Э. Рыжик (Галай) // Проблемы безопасности на транспорте : тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф. – Гомель : БелГУТ, 1997. – С. 58.

20. Галай, Э. И. Испытания макетных образцов новых авторежимов / Э. И. Галай, Е. Э. Рыжик (Галай) // Актуальные проблемы развития транспортных систем : тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф. – Гомель : БелГУТ, 1998. – С. 131–132.

21. Рыжик (Галай), Е. Э. Регулировочная характеристика авторежимов для грузовых вагонов скоростных контейнерных поездов / Е. Э. Рыжик (Галай) // Железнодорожный транспорт сегодня и завтра : тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф. – Екатеринбург : УрГУПС, 1998. – С. 49.

22. Галай, Э. И. Оценка резерва мощности фрикционных тормозов / Э. И. Галай, Е. Э. Галай // Потенциал науки – развитию промышленности, экономики, культуры, личности : реф. докл.: в 2 т. Т. 1. – Минск : БГПА, 2002. – С. 102.

Патенты

23. Пат. 4769 Республика Беларусь, В 60Т 8/18. Автоматический регулятор грузовых режимов торможения / Галай Э. И., Лукашик В. Г., Галай (Рыжик) Е. Э. ; заявитель и патентообладатель Белорус. гос. ун-т трансп. – № 970365 ; заявл. 08.07.1997 ; опубл. 30.12.2002, Афіц. бюл. № 1 / Дзярж. кам. Рэсп. Беларусь. – 2 с.

24. Пат. 5300 Республика Беларусь, В 60Т 8/18. Автоматический регулятор грузовых режимов торможения / Галай Э. И., Рудов П. К., Тамков Н. Л., Галай Е. Э. ; заявитель и патентообладатель Белорус. гос. ун-т трансп. – № а 19991057; заявл. 29.11.1999 ; опубл. 30.06.2003, Афіц. бюл. № 2 / Дзярж. кам. Рэсп. Беларусь. – 2 с.

Учебные пособия

25. Галай, Э. И. Пневматические тормоза западноевропейских железных дорог : учеб.-метод. пособие / Э. И. Галай, Е. Э. Галай ; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2009. – 70 с.

26. Галай, Э. И. Тормозные системы железнодорожного транспорта. Конструкция тормозного оборудования : учеб. пособие / Э. И. Галай, Е. Э. Галай ; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2010. – 315 с.

27. Галай, Э. И. Тормозные системы железнодорожного транспорта. Расчеты пневматических тормозов : учеб. пособие / Э. И. Галай, Е. Э. Галай, П. К. Рудов. – Гомель : БелГУТ, 2014. – 274 с.

РЭЗІЮМЭ

Галай Алена Эдуардаўна Павышэнне эфектыўнасці аўтаматычных рэгулятараў рэжымаў тармажэння грузавых вагонаў

Ключавыя словы: тармажэнне, таварны вагон, загрузка, калодка, тармазная сіла, тармажны цыліндр, аўтарэжым, цеплавая нагружанасць, часовы кантакт, рэгуляванне тармажнай сілы, газадынамічныя працэсы.

Мэта даследавання: павышэнне надзейнасці, функцыянальнай і эканамічнай эфектыўнасці аўтаматычных рэгулятараў, у тым ліку з часовым кантактам або адаптыўнай сувяззю іх вымяральнага вузла з надрысорнай бэлькай вазка вагона, якія забяспечваюць патрэбнае запаволенне і прыпынак цягніка на карацейшым тармажным шляху, за кошт распрацоўкі і абгрунтавання метадаў рэгулявання тармажнай сілы грузавых вагонаў у залежнасці ад загрузкі.

Метады даследавання: навукова абгрунтаваная методыка вызначэння тармажнай эфектыўнасці грузавых вагонаў і яе залежнасці ад канструкцыі тармажных элементаў з улікам цеплавой нагрузкі фрыкцыйнага вузла і праходжання газадынамічных працэсаў.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: Прапанавана методыка разліку рэгулявальнай характарыстыкі аўтарэжыма, цеплавых працэсаў фрыкцыйнага вузла і ацэнкі газадынамічных працэсаў у pneўматычнай тармажнай сістэме вагона.

Вынікі параўнальных эксперыментальных даследаванняў даказалі эфектыўнасць аўтарэжыма з часовым кантактам дэталей вымяральнага вузла. Распрацавана схема аўтарэжыма з адаптыўным датчыкам загрузкі.

Ступень выкарыстання і рэкамендацыі: Узоры аўтаматычных рэгулятараў прайшлі выпрабаванні ў вагонных дэпо Гомель і Віцебск у працэсе даследнай эксплуатацыі на Беларускай чыгунцы.

Вобласць ужывання: машынабудаванне, вагонабудаўнічыя і вагонарамонтныя прадпрыемствы.

РЕЗЮМЕ

Галай Елена Эдуардовна

Повышение эффективности автоматических регуляторов режимов торможения грузовых вагонов

Ключевые слова: торможение, грузовой вагон, загрузка, колодка, тормозная сила, тормозной цилиндр, авторежим, тепловая нагруженность, временный контакт, регулирование тормозной силы, газодинамические процессы.

Цель исследования: повышение надёжности, функциональной и экономической эффективности автоматических регуляторов, в том числе с временным контактом или адаптивной связью измерительного узла с надрессорной балкой, обеспечивающих потребное замедление и остановку поезда на кратчайшем тормозном пути, за счет разработки и обоснования методов регулирования тормозной силы грузовых вагонов в зависимости от загрузки.

Методы исследования: научно обоснованная методика определения тормозной эффективности грузовых вагонов и её зависимости от конструкции тормозных элементов с учетом тепловой нагруженности фрикционного узла и протекания газодинамических процессов.

Полученные результаты и их новизна: Предложены методики расчета регулировочной характеристики авторежима, тепловых процессов фрикционного узла и оценки газодинамических процессов в пневматической тормозной системе вагона.

Результаты сравнительных экспериментальных исследований доказали эффективность авторежима с временным контактом деталей измерительного узла.

Разработана схема авторежима с адаптивным датчиком загрузки.

Степень использования и рекомендации: Образцы автоматических регуляторов прошли испытания в вагонных депо Гомель и Витебск в процессе опытной эксплуатации на Белорусской железной дороге.

Область применения: машиностроение, вагоностроительные и вагоноремонтные предприятия.

SUMMARY
Galai Elena E.

**Increasing the effectiveness of the automatic regulators
of braking modes for freight cars**

Keywords: braking, freight car, loading, brake shoe, braking force, brake cylinder, automatic regulator, thermal loading, temporary contact, braking force regulation, gas-dynamic processes.

Objective of the study: developing and justifying the methods of regulating the braking force of freight cars in order to increase the functional and economic efficiency and reliability of automatic regulators of braking modes, including temporary contact of the measuring unit, for the purpose of slowing down and stopping the train at the shortest braking distance.

Methods: a scientifically based technique of determining the braking efficiency of freight cars and its dependence on the design features of braking elements, with considering the thermal loading of the friction assembly and the gas-dynamic processes.

The results and their novelty: has been presented a calculation technique of the regulating characteristics of automode, of thermal processes in the friction assembly, and a method of assessing gas-dynamic processes in the pneumatic brake system of the car.

The results of comparative experimental studies have proven the effectiveness of automatic regulators with temporary contact of the measuring unit parts.

An automode scheme with adaptive loading sensor having been developed.

The extent of the use and recommendation: the samples of automatic regulators have been tested in depots Gomel and Vitebsk during the trial operation at the Belarusian Railway.

Field of application: engineering, carriage-building and repair enterprises.



Научное издание

ГАЛАЙ Елена Эдуардовна

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ
АВТОМАТИЧЕСКИХ РЕГУЛЯТОРОВ
РЕЖИМОВ ТОРМОЖЕНИЯ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ**

05.22.07 – Подвижной состав железных дорог,
тяга поездов и электрификация

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 12.02.2018 г. Формат бумаги 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать на ризографе.

Усл. печ. л. 1,4. Тираж 100 экз.

Зак. № 474.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский государственный университет транспорта.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий

№ 2/104 от 01.04.2014 г.

Ул. Кирова, 34, 246653, Гомель