

629,4,077-592

p 835

Учреждение образования
«Белорусский государственный университет транспорта»

На правах рукописи

УДК 629.4.077-592

РУДОВ
Павел Корнеевич

**РАЦИОНАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ТОРМОЗНЫХ СИСТЕМ
ДИЗЕЛЬ-ПОЕЗДОВ С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ ИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

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

Гомель, 2007 г.

Работа выполнена в УО «Белорусский государственный университет транспорта»

Научный руководитель: **Галай Эдуард Иванович** – доктор технических наук, заведующий ОНИЛ «Тормозные системы подвижного состава» УО «Белорусский государственный университет транспорта»

Официальные оппоненты:

Дёмин Юрий Васильевич – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Государственного экономико-технологического университета транспорта Министерства транспорта и связи Украины

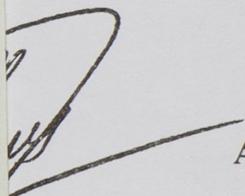
Френкель Семен Яковлевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Тепловозы и тепловые двигатели» УО «Белорусский государственный университет транспорта»

я железная дорога

00, ауд. 248 на заседании специа-
Д 02.27.01 при УО «Белорусский
адресу: ул. Кирова, 34, г. Гомель,
-0232) 95-21-92.

чно-технической библиотеке УО
анспорта»

ах, заверенные печатью, просим


А.К. Головнич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь с научными темами. Работа выполнялась в рамках НИР «Исследование взаимодействия колодочного и дискового тормозов дизель-поезда ДБел и разработка рекомендаций по оптимальному регулированию и управлению тормозами», 1996 г., № ГР 19962253; «Исследование надежности и повышение эффективности тормозов локомотивов и мотор-вагонного подвижного состава. Исследование способов и разработка рекомендаций по регулированию тормозной рычажной передачи тележки прицепного вагона дизель-поезда ДДБ1», 2003 г., № ГР 20031547; «Исследование продольной динамики дизель-поезда ДДБ1 с вагоном-кабиной управления и разработка мер по уменьшению динамических усилий в процессе торможения», 2006 г., № ГР 2006338.

Цель и задачи исследования. Цель – повышение безопасности перевозок за счет рационального использования фрикционных свойств и ресурса тормозных накладок и колодок, снижения продольных динамических сил и исключения самопроизвольного прижатия тормозных колодок путем совершенствования методов расчета и моделирования параметров тормозных систем дизель-поездов с колодочными и дисковыми тормозами.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

- разработка методик расчета эффективного радиуса трения и координат точки приложения силы нажатия при равномерном износе тормозных накладок в дисковом тормозе;
- исследование распределения давления по площади фрикционного контакта и влияния смещения точки приложения силы нажатия на эффективность дискового тормоза и неравномерность износа накладок;
- исследование закономерностей изменения тормозной силы секций тепловоза и прицепных вагонов в дизель-поездах ДРБ1 и ДДБ1 при остановочном торможении и разработка мер по улучшению продольной динамики;
- разработка математической модели тормозной рычажной передачи колодочного тормоза прицепного вагона дизель-поезда ДДБ1;
- исследование работы тормозной рычажной передачи прицепных вагонов дизель-поезда ДДБ1 на основе моделирования и разработка мер по устранению самопроизвольного прижатия тормозных колодок к колесам.

Объектом исследования является тормозная система дизель-поездов, эксплуатируемых на Белорусской железной дороге. От состояния и нормального функционирования тормозной системы зависят безопасность движения поездов, нагруженность и срок службы узлов и деталей подвижного состава, комфорт для пассажиров.

Положения, выносимые на защиту:

– расчетные формулы для определения эффективного радиуса трения в дисковом тормозе, которые получены с учетом особенностей образования тормозного момента на диске и благодаря которым повышается точность определения триботехнических характеристик фрикционных материалов и тормозных расчетов, обеспечивается выбор рациональных силовых параметров дискового тормоза на стадии проектирования;

– методика расчета координат точки приложения силы нажатия на тормозную накладку при равномерном износе, которая учитывает зависимость распределения давления от фрикционных характеристик материалов и благодаря которой повышается точность расчета геометрических параметров дискового тормоза, сокращаются затраты и объем экспериментальных работ на стадии проектирования;

– критерий оценки износа тормозных накладок в виде коэффициента неравномерности износа, представляющий собой тангенс угла поворота накладки при износе на единицу линейного размера в точке, лежащей на оси симметрии накладки, и позволяющий произвести оценку неравномерности износа тормозных накладок в дисковом тормозе;

– теоретические зависимости распределения давления по площади фрикционного контакта приработанной накладки при неравномерном износе, основанные на условии изнашивания накладок в плоскости диска и позволяющие оценить влияние смещения точки приложения силы нажатия на неравномерность износа накладок и тормозную эффективность.

– способы и устройства регулирования тормозной силы в зависимости от скорости, основанные на поддержании постоянной разности удельных тормозных сил между вагонами в составах и тяговыми единицами и обеспечивающие снижение продольных динамических нагрузок в дизель-поездах;

– математическая модель тормозной рычажной передачи прицепного вагона дизель-поезда, устанавливающая взаимное положение элементов передачи в зависимости от их конструктивных и эксплуатационных параметров и основанная на итерационном методе вычисления координат точек рычагов, благодаря которой выявлены причины самопроизвольного прижатия тормозных колодок и разработаны меры по их устранению.

Личный вклад соискателя. Разработка методик расчета эффективного радиуса трения при равномерном и неравномерном износах накладок дискового тормоза, координат точки приложения силы нажатия на тормозную накладку и оценка их влияния на неравномерность износа и эффективный радиус трения, распределения давления по площади фрикционного контакта приработанной накладки, разработка математической модели и анализ работы тормозной рычажной передачи прицепного вагона дизель-поезда ДДБ1 на основе моделиро-

вания выполнены лично автором. Анализ методов расчета дисковых тормозов и экспериментальные исследования износа тормозных накладок дизель-поезда ДР1А(П) выполнены совместно с д.т.н. Э.И. Галаем. Теоретические и экспериментальные исследования взаимодействия тормозных систем составных единиц дизель-поездов ДРБ1 и ДДБ1 и разработка мер по улучшению продольной динамики при торможении выполнены с участием д.т.н. Э.И. Галая и инженера Е.А. Кожевникова. Предложения по устранению самопроизвольного прижатия тормозных колодок к колесу при отпущенном состоянии тормоза разработаны с участием д.т.н. Э.И. Галая и главного технолога локомотивного депо Полоцк В.И. Барановского.

Апробация результатов диссертации. Основные результаты, полученные в диссертационной работе, докладывались и обсуждались на VIII конференции «Проблемы механики железнодорожного транспорта: Динамика, прочность и надежность подвижного состава» (Днепропетровск, 1992); Международных симпозиумах по трибофатике: трение, изнашивание, усталость (Гомель, 1993; Тернополь, 2002); международных научно-практических и научно-технических конференциях: «Проблемы повышения функциональной и экономической устойчивости работы транспортного комплекса и его кадрового обеспечения в условиях рынка» (Гомель, 1993), «Актуальные вопросы совершенствования конструкции вагонов и вагоноремонтной базы» (Гомель, 1994), «Проблемы развития рельсового транспорта» (Луганск, 1997), «Актуальные проблемы развития транспортных систем» (Гомель, 1998), «Железнодорожный транспорт сегодня и завтра» (Екатеринбург, 1998), «Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса» (Гомель, 2003), «Проблемы безопасности на транспорте» (Гомель, 2005), «Наука, инновации и образование: актуальные проблемы развития транспортного комплекса России» (Екатеринбург, 2006); «Актуальные задачи развития железнодорожного транспорта» (Гомель, 2006), на расширенном заседании кафедры «Электрическая тяга» Уральского государственного университета путей сообщения (Екатеринбург, 2006), на расширенном заседании кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» Белорусского государственного университета транспорта (Гомель, 2007).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 37 печатных работ, из них 10 статей общим объемом 4,5 авторских листа в журналах, включенных в перечень ВАК, 7 докладов на международных конференциях и симпозиумах, 4 статьи в сборниках научных трудов, 10 тезисов докладов, 6 патентов.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, библиографического списка, включающего 118 наименований, и 17 приложений. Работа содержит 100 страниц основного текста (без приложений), 55 рисунков, 13 таблиц, приложения на 67 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дан обзор проблем эксплуатации тормозов в дизель-поездах, показана их взаимосвязь, обосновывается актуальность работы.

В процессе эксплуатации дизель-поездов установлено, что используемые на них колодочные и дисковые тормоза имеют ряд недостатков. Отсутствие совершенной и обоснованной методики расчета дисковых тормозов не позволяет заложить на этапе проектирования эффективное использование фрикционных свойств и ресурса тормозных накладок. Наблюдается неравномерный износ фрикционных элементов. Взаимодействие тормозных систем с колодочными и дисковыми тормозами единиц подвижного состава в дизель-поездах ДДБ1 и ДРБ1 приводит к возникновению значительных продольных динамических сил в поезде. В рычажной передаче прицепных вагонов дизель-поездов ДДБ1 при отпущенном состоянии тормоза наблюдаются случаи самопроизвольного прижатия тормозных колодок к колесам. В результате при движении поезда срабатывают стационарные приборы «ДИСК-Б» и «КТСМ», установленные на пути и реагирующие на повышенный нагрев ходовых частей и фрикционных узлов, происходит ускоренный износ колодок.

В связи с изложенными проблемами актуальной задачей является совершенствование теории расчета и моделирования параметров тормозных систем дизель-поездов с целью повышения безопасности движения, увеличения срока службы узлов и деталей и повышения комфорта для пассажиров.

В первой главе диссертационной работы представлен обзор работ по проблемам эксплуатации тормозных систем дизель-поездов, приведен анализ методов расчета дисковых тормозов, сформулированы цель и задачи исследований.

Отмечено, что существенный вклад в решение проблем дискового и колодочного тормозов и их взаимодействия в поезде внесли известные ученые: В.М. Казаринов, Б.А. Карвацкий, В.Г. Иноземцев, П.Т. Гребенюк, В.Ф. Ясенцев, П.С. Анисимов, А.В. Чичинадзе, Л.А. Вуколов, В.В. Крылов, Э.И. Галай, А.В. Казаринов, Г.В. Гнездилова, А.И. Колесниченко, А.М. Ножевников, Л.М. Пыжевич, А.И. Турков, Ю.П. Федосеев, М.И. Глушко, Ю.В. Демин, С.С. Довганюк, Г.И. Богомаз, А.Н. Шамаков, Г. Б. Никитин, В.А. Юдин, Х.Р. Элерс, Э. Саумвебер и др.

Отмечено отсутствие единого подхода в расчетах дискового тормоза и многообразии предлагаемых в литературных источниках формул для определения эффективного радиуса трения, дающих разные значения. Показано, что известные методики расчета не в полной мере учитывают особенности образования тормозной силы в дисковом тормозе. Они не позволяют получить объективные результаты при исследованиях триботехнических характеристик фрикционных материалов, приводят к ошибкам в определении силовых и геометрических параметров дискового тормоза при проектировании и погрешности в

определении тормозной силы и тормозных расчетах.

Рассмотрены различные подходы в описании распределения давления по площади фрикционного контакта при равномерном износе накладок. В результате анализа предложено использовать закономерность, основанную на пропорциональности величины износа накладок выполненной работе трения.

Во второй главе приведены результаты исследования износа тормозных накладок в дизель-поездах ДР1, рассмотрены причины неравномерного износа и разработана усовершенствованная методика расчета дисковых тормозов.

Установлено, что равномерный износ наблюдается лишь у 19 % тормозных накладок. Для обеспечения равномерного износа **точку приложения силы нажатия** предлагается определять по методике, в основу которой положено равенство ее координат и координат равнодействующей системы параллельных сил от распределения давления по площади фрикционного контакта в соответствии с закономерностью, обеспечивающей одинаковую удельную мощность трения. Для определения расстояния от центра вращения диска до точки приложения силы нажатия на накладку дискового тормоза дизель-поездов ДР1 всех серий с учетом особенностей геометрии фрикционного контакта (элементы трапециевидальной формы) автором получена следующая формула:

$$y_c = \sum_{i=1}^2 \int_{r_1}^{r_2} \int_{\alpha_i - \alpha_T/2}^{\alpha_i + \alpha_T/2} p(r, \alpha) r^2 \frac{\cos \alpha}{\cos(\alpha - \alpha_i)} dr d\alpha \bigg/ 2 \int_{r_1}^{r_2} \int_{-\alpha_T/2}^{\alpha_T/2} p(r, \alpha) \frac{r}{\cos \alpha} dr d\alpha, \quad (1)$$

где r_1, r_2 – расстояния от оси вращения диска до оснований трапеции;

α_i – угол между осями симметрии накладки в целом и i -го элемента;

α_T – центральный угол отдельного фрикционного элемента (трапеции);

$p(r, \alpha)$ – функция распределения давления при равномерном износе;

r – текущее расстояние от оси вращения диска до проекции рассматриваемой точки элемента накладки на ось симметрии элемента.

На основе предложенной методики получены также формулы для расчета координат точки приложения силы нажатия при различной форме накладок. Показано, что расстояние y_c зависит от фрикционных характеристик материалов, а также изменяется при изменении силы нажатия и скорости движения (рисунок 1). Точку приложения силы нажатия предлагается выбирать для расчетной скорости и расчетного нажатия при полном служебном торможении. Расчетная скорость может быть определена как $v_p = v_0 / \sqrt{2}$, где v_0 – максимальная скорость начала торможения.

При выводе формулы для расчета **эффективного радиуса трения** r_s учтены особенности образования тормозной силы в дисковом тормозе. Эффективный радиус трения определяется путем деления тормозного момента M_d , дейст-

вующего на диске, на суммарную силу трения F_T накладки, полученную сложением модулей элементарных сил. В общем виде для накладок любой формы автором предложены следующие выражения:

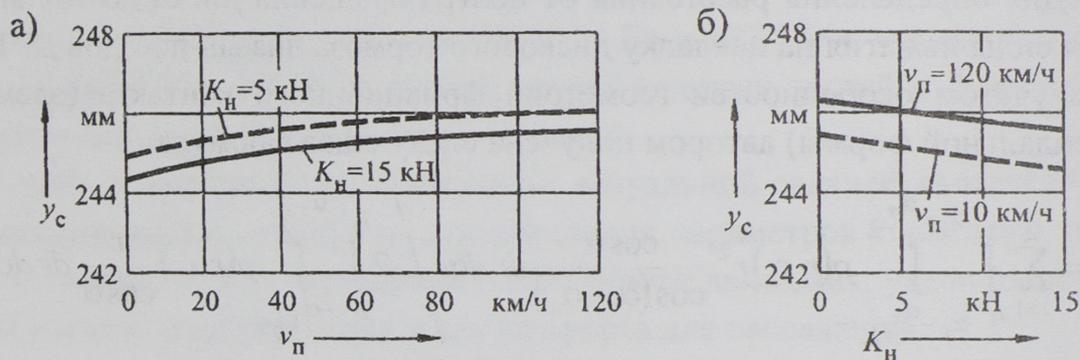
$$F_T = \frac{k}{\omega} \int \frac{dS}{\rho}; \quad M_d = \frac{k}{\omega} S_H; \quad r_3 = M_d / F_T = S_H / \int \frac{dS}{\rho}, \quad (2)$$

где k – удельная тормозная мощность на накладке. Определяется как произведение давления p на коэффициент трения ϕ и скорость трения v в рассматриваемой точке. При равномерном износе в каждый момент времени для каждой точки накладки $k = const$;

ω – угловая скорость вращения диска;

ρ – текущее расстояние от рассматриваемого элемента площади накладки до оси вращения диска (радиус трения);

S_H – площадь фрикционной поверхности накладки.



а – от скорости движения поезда v_n ; б – от силы нажатия на накладку K_H

Рисунок 1 – Зависимость расстояния y_c от скорости движения и силы нажатия для обеспечения равномерного износа накладок

Доказано, что эффективный радиус трения является *функцией геометрических характеристик* площади фрикционного контакта трущихся пар. При этом он не зависит от угла взаимного перекрытия диска и накладки и коэффициента трения.

Для накладки в виде кольцевого сектора эффективный радиус трения равен ее среднему радиусу, а для накладки трапецидальной формы дизель-поездов ДР1 впервые получено следующее выражение:

$$r_3 = (c + d) / 4 \ln \left(\operatorname{tg} \frac{\alpha_T + \pi}{4} \right). \quad (3)$$

где c, d – длина оснований трапеции;

α_T – центральный угол одного фрикционного элемента.

Для дискового тормоза дизель-поездов ДР1 $r_3 = 0,265$ м.

Приведенная формула справедлива для случая, когда точка пересечения линий, являющихся продолжением боковых сторон трапеции, совпадает с осью

вращения диска. В противном случае

$$r_3 = \frac{(c+d)h}{4 \left[(\rho_{\text{во}} + h) \ln \left| \operatorname{tg} \frac{\alpha_2 + \pi}{4} \right| + \left(\frac{dh}{c-d} - \rho_{\text{во}} \right) \sin \frac{\alpha_T}{2} \ln \left| \frac{\operatorname{tg} \frac{\alpha_1 - \alpha_T}{4}}{\operatorname{tg} \frac{\alpha_2 - \alpha_T}{4}} \right| - \rho_{\text{во}} \ln \left| \operatorname{tg} \frac{\alpha_1 + \pi}{4} \right| \right]}, \quad (4)$$

где $\rho_{\text{во}}$ – расстояние от оси вращения диска до ближайшей стороны накладки;
 h – высота накладки.

Для ускоренных расчетов рекомендуется приближенная формула

$$r_3 \approx (c+d) / \left[4 \ln \left(\operatorname{tg} \frac{\alpha_T + \pi}{4} \right) + \left(\rho_{\text{во}} - \frac{dh}{c-d} \right) \right]. \quad (5)$$

Формула (5) обеспечивает приемлемый для инженерных расчетов результат.

Теоретическая зависимость распределения давления по фрикционной площади приработанной накладки при неравномерном износе установлена исходя из двух условий – равновесия башмака с накладками и изнашивания фрикционной накладки в плоскости диска. Эта зависимость записывается в виде

$$k_{\text{во}} \left[1 + C_{ky} (\rho \cdot \cos \alpha_i - \rho_{\text{в}}) \right] = \frac{pv \alpha_o (\beta p + \gamma) \cdot (fv + g)}{(\delta p + \gamma) \cdot (cv + g)}, \quad (6)$$

где $k_{\text{во}}$ – удельная мощность трения в точке внутренней периферии накладки, лежащей на оси симметрии;

C_{ky} – коэффициент неравномерности износа вдоль оси симметрии накладки,

$$C_{ky} = \frac{k_{\text{но}} - k_{\text{во}}}{k_{\text{во}} (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{в}})};$$

$k_{\text{но}}$ – удельная мощность трения в точке наружной периферии накладки, лежащей на оси симметрии;

$\rho_{\text{в}}$ – радиус внутренней периферии накладки;

$\rho_{\text{н}}$ – радиус наружной периферии накладки;

α_i – угол наклона радиальной линии к оси симметрии накладки;

$\alpha_o, \beta, \delta, \gamma, c, a, g$ – эмпирические коэффициенты, зависящие от материала накладки и используемые в формулах для определения φ .

Коэффициент C_{ky} , предлагаемый впервые в качестве критерия оценки неравномерности износа, может быть определен по формуле

$$C_{ky} = \frac{\delta_{\text{но}} / \delta_{\text{во}} - 1}{\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{в}}}, \quad (7)$$

где $\delta_{\text{но}}, \delta_{\text{во}}$ – линейный износ в точках соответственно наружной и внутренней периферий накладки, лежащих на оси симметрии.

Зависимости (1) и (6) позволяют произвести оценку влияния смещения точки приложения силы нажатия на распределение давления и неравномерность износа накладок. Можно решать также обратную задачу. У изношенных накладок после определения коэффициента неравномерности износа по формуле (7) определять смещение точки приложения силы нажатия от положения, при котором обеспечивается равномерный износ.

В соответствии с результатами исследований, проведенных в локомотивном депо Гомель на дизель-поездах ДР1А, средняя разница в толщине наиболее изношенной и наименее изношенной частей накладки составила 6,6 мм для накладок, имеющих повышенный износ внутренней периферии, и 6,3 мм для накладок, имеющих повышенный износ наружной периферии. Результаты расчетов показывают, что такая разница в толщине обеспечивается при смещении точки приложения силы нажатия на 7 мм от оптимального положения в сторону соответствующей периферии. Максимальная разность в толщине накладки составила 12,5 мм, что соответствует смещению точки приложения силы на 13 мм.

При неравномерном износе накладок, вызванном смещением точки приложения силы нажатия, изменяется **эффективный радиус трения**, что приводит к изменению тормозного момента, действующего на оси колесной пары. В одних случаях это может явиться причиной заклинивания колесных пар, а в других – причиной снижения тормозной эффективности.

Для накладок с поверхностью трения любой геометрической формы впервые получены следующие уравнения для определения тормозного момента, суммарной силы трения и эффективного радиуса трения:

$$F_T = \int_{S_H} p(\rho, \alpha) \varphi(\rho, \alpha) dS = \frac{k_{BO}}{\omega} \int_{S_H} \frac{1 + C_{ky} (\rho \cos \alpha - \rho_B)}{\rho} dS; \quad (8)$$

$$M_d = \int_{S_H} p(\rho, \alpha) \varphi(\rho, \alpha) \rho dS = \frac{k_{BO}}{\omega} \int_{S_H} [1 + C_{ky} (\rho \cos \alpha - \rho_B)] dS; \quad (9)$$

$$r_3 = \left(S_H + C_{ky} \int_{S_H} \rho \cos \alpha dS - C_{ky} \rho_B S_H \right) / \left(\int_{S_H} \frac{dS}{\rho} + C_{ky} \int_{S_H} \cos \alpha dS - C_{ky} \rho_B \int_{S_H} \frac{dS}{\rho} \right). \quad (10)$$

Как следует из уравнения (10), эффективный радиус трения является функцией геометрических параметров площади накладки и коэффициента неравномерности износа.

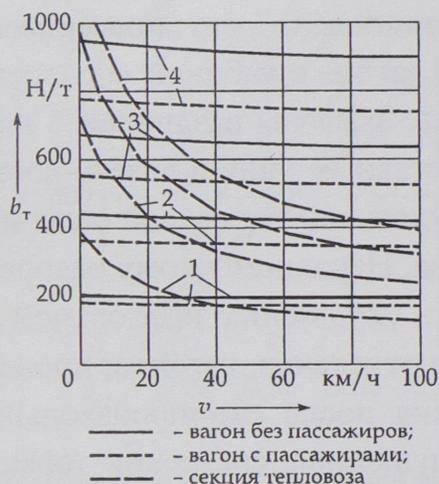
Впервые получены формулы для определения r_3 при неравномерном износе накладок с поверхностью трения различной формы, в том числе трапециевидной, которые позволяют повысить точность расчета тормозной силы.

В третьей главе приведены результаты исследования взаимодействия тормозов тяговых единиц и прицепных вагонов в дизель-поездах ДРБ1 и ДДБ1,

установлены причины повышенных продольных динамических сил, разработаны рекомендации по их уменьшению.

Показано, что в **дизель-поездах ДРБ1** повышенные динамические силы в момент торможения возникают вследствие различия триботехнических характеристик фрикционных пар колодочного тормоза тепловоза и дискового тормоза прицепных вагонов.

Экспериментально определено соотношение давлений в тормозных цилиндрах тепловоза и вагонов при различных режимах торможения и вариантах загрузки вагонов. С учетом методики, разработанной автором для дисковых тормозов, произведены расчеты удельной тормозной силы b_t , зависимость которой от скорости при ступенчатых торможениях электропневматическим тормозом (ЭПТ) приведена на рисунке 2. При высокой скорости удельная тормозная сила для секций тепловоза меньше, чем для вагонов. Головная часть поезда находится в растянутом состоянии, а хвостовая часть в сжатом. При скорости 10–40 км/ч удельные тормозные силы выравниваются, а затем рост b_t на тепловозе резко увеличивается. При этом головная часть поезда сжимается, а хвостовая растягивается, что вызывает динамические удары в поезде, приводящие к дополнительной нагруженности узлов и деталей подвижного состава и нарушающие нормальные условия поездки для пассажиров.



1, 2, 3, 4 – при давлениях в ТЦ тепловоза соответственно 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 МПа

Рисунок 2 – Зависимость удельной тормозной силы от скорости

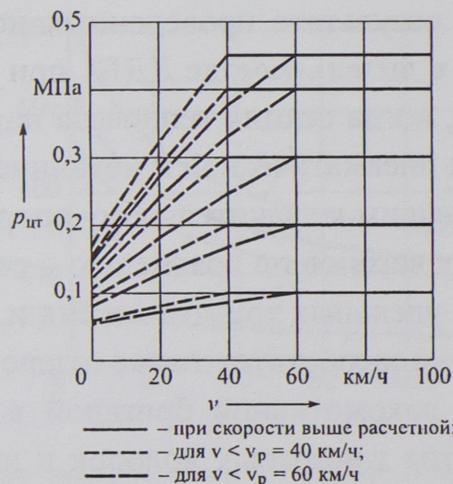


Рисунок 3 – Зависимость давлений в ТЦ тепловоза при скоростном регулировании тормозной силы

Оптимальный вариант развития тормозной силы в дизель-поезде должен обеспечивать равенство удельной тормозной силы тепловоза и прицепных вагонов при любом режиме торможения в рабочем диапазоне скоростей. Существующая разница между ними может быть уменьшена за счет регулирования тормозной силы в зависимости от скорости или применения композиционных колодок на тепловозе. Впервые предложен принцип поддержания постоянной

разности между удельной тормозной силой тепловоза $b_{\text{тт}}$ и вагонов $b_{\text{тв}}$ при скорости движения, ниже расчетной, положенный в основу расчетов параметров скоростного регулирования,

$$b_{\text{тв}}(v < v_p) - b_{\text{тт}}(v < v_p) = \text{const} = b_{\text{тв}}(v_p) - b_{\text{тт}}(v_p), \quad (11)$$

где v – текущая скорость дизель-поезда;

v_p – расчетная скорость, предлагается принимать 40–60 км/ч.

Изменение давления в тормозных цилиндрах должно происходить в соответствии с изменением двух аргументов $p_{\text{цт}} = f(v, p_{\text{др}}^B)$ или $p_{\text{цт}} = f(v, t_B)$, где $p_{\text{др}}^B$ – давление в дополнительном резервуаре вагона; t_B – время возбуждения электромагнитных вентилях электровоздухораспределителя (ЭВР) при торможении.

На рисунке 3 приведена регулировочная характеристика скоростного регулирования тормозной силы тепловоза при ступенчатом торможении ЭПТ. В настоящее время машинист в соответствии с разработанными рекомендациями осуществляет скоростное регулирование тормозной силы тепловоза, периодически выключая отпускной вентиль ЭВР. Автором предложены различные варианты модернизации тормозной системы, обеспечивающей автоматическое регулирование тормозной силы в зависимости от скорости, что подтверждается пятью патентами.

В результате проведенных исследований установлено, что динамические удары в дизель-поезде ДДБ1 при торможении из вагона с кабиной управления (ВКУ), когда секция тепловоза находится в хвосте, вызваны различием в параметрах пневматической и механической систем составных единиц дизель-поезда, приводящим к значительному опережению роста удельной тормозной силы прицепных вагонов по сравнению с секцией тепловоза. Неравномерному распределению удельных тормозных сил и, соответственно, ухудшению продольной динамики способствует также отключение тормозов отдельных вагонов, производимое локомотивной бригадой в пути следования после самопроизвольного прижатия тормозных колодок к колесам при отпущенном состоянии тормоза, что считается также опасным явлением, влияющим на безопасность движения.

На тепловозе используются гребневые колодки из серого чугуна, а на вагонах – чугунные с повышенным содержанием фосфора. На основе проведенных испытаний установлено, что в дизель-поезде ДДБ1 при экстренном торможении расчетный тормозной коэффициент порожних прицепных вагонов в 2,66 раза выше расчетного тормозного коэффициента тепловоза. Фактическое значение расчетного тормозного коэффициента тепловоза на 20 % меньше, а вагонов на 10 % больше полученного расчетным путем. Это увеличивает разность удельных тормозных сил в поезде.

Кроме того, на тепловозе и вагонах объемы запасных и дополнительных

резервуаров имеют различное соотношение, вызывающее отставание роста давлений в тормозных цилиндрах секции тепловоза по сравнению с вагонами.

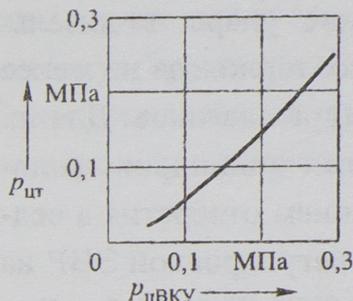
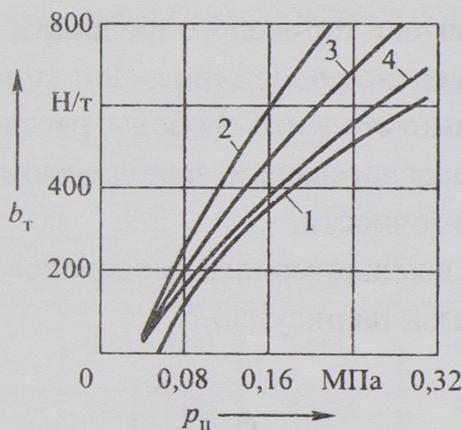


Рисунок 4 - Соотношение давлений в ТЦ тепловоза и ВКУ

На рисунке 4 показана зависимость между давлениями в тормозных цилиндрах тепловоза и ВКУ при ступенчатых торможениях ЭПТ.

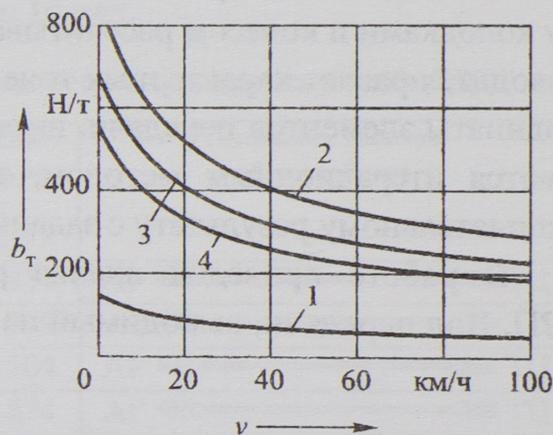
На рисунке 5 показана зависимость удельной тормозной силы от давления в тормозных цилиндрах, а на рисунке 6 – от скорости движения при первой степени торможения с учетом соотношения давлений в тормозных цилиндрах. Из графиков видно, что расчетная удельная тормозная сила тепловоза по сравнению с вагонами в 4–6 раз меньше.

Выполнен теоретический анализ предложенных автором способов уменьшения разности удельных тормозных сил между тепловозом и вагонами: регулировкой ЭВР тепловоза на минимальное время наполнения тормозных цилиндров; увеличением диаметра калиброванного отверстия в седле тормозного клапана ЭВР тепловоза; установкой на локомотиве фосфористых чугунных колодок, имеющих более высокий коэффициент трения; изменением объемов запасных и дополнительных резервуаров на тепловозе.



1 – для секции тепловоза; 2 – для вагона без пассажиров (масса 37,4 т); 3 – для частично заселенного вагона (масса 47,4 т); 4 – для полностью заселенного вагона (масса 58,4 т)

Рисунок 5 – Зависимость удельной тормозной силы от давления в ТЦ



1 – для секции тепловоза; 2 – для вагона без пассажиров (масса 37,4 т); 3 – для частично заселенного вагона (масса 47,4 т); 4 – для полностью заселенного вагона (масса 58,4 т)

Рисунок 6 – Зависимость удельной тормозной силы от скорости движения

На основании анализа зависимостей, показанных на рисунках 4 и 5, предложено уменьшение разности в удельных тормозных силах обеспечивать за счет ускорения наполнения тормозных цилиндров тепловоза. В связи с отсутствием точных методов расчета выбор рационального способа наполнения тормозных цилиндров производился на основе эксперимента. Проведены стационарные, а также поездные испытания дизель-поездов в графиковом режиме с

пассажирами. При этом два ЭВР регулировались на время наполнения тормозных цилиндров до давления 0,3 МПа за 2,6 с; в трех ЭВР был увеличен диаметр отверстия в седле клапана тормозного вентиля до 1,9; 2,0 и 2,1 мм. В результате многократных испытаний установлено, что динамические удары в дизель-поезде отсутствуют, если давление в тормозных цилиндрах тепловоза не менее чем на 0,02 МПа превышает давление в тормозных цилиндрах вагонов. Для их исключения предлагается ускорение наполнения тормозных цилиндров тепловоза обеспечивать комбинированным способом – увеличением отверстия в седле тормозного клапана до 1,90–1,95 мм с одновременной регулировкой ЭВР на минимальное время наполнения тормозных цилиндров до 0,3 МПа за 2,5 с. Это не требует изменения действующих правил ремонта.

В четвертой главе разработана математическая модель тормозной рычажной передачи (ТРП) прицепного вагона дизель-поезда ДДБ1, на основе моделирования исследована ее работа, установлены причины самопроизвольного прижатия тормозных колодок к колесам при отпущенном тормозе, предложены рекомендации по регулированию и способы модернизации ТРП, позволяющие исключить самопроизвольное прижатие колодок.

Для установления причин самопроизвольного прижатия колодок создана математическая модель ТРП. Определение положения элементов ТРП начинается с расчета координат мертвых точек. Затем в зависимости от заданного зазора между колодками и колесом рассчитывается выход штока тормозного цилиндра, производится расчет характерных точек, изменяющих свое положение. При этом координаты элементов передачи, имеющих несколько степеней свободы, рассчитываются итерационным методом, то есть последовательным приближением к окончательному результату с заданной степенью точности.

В работе приведен анализ результатов компьютерного моделирования ТРП. Вид передачи, выводимый на экране, показан на рисунке 7.

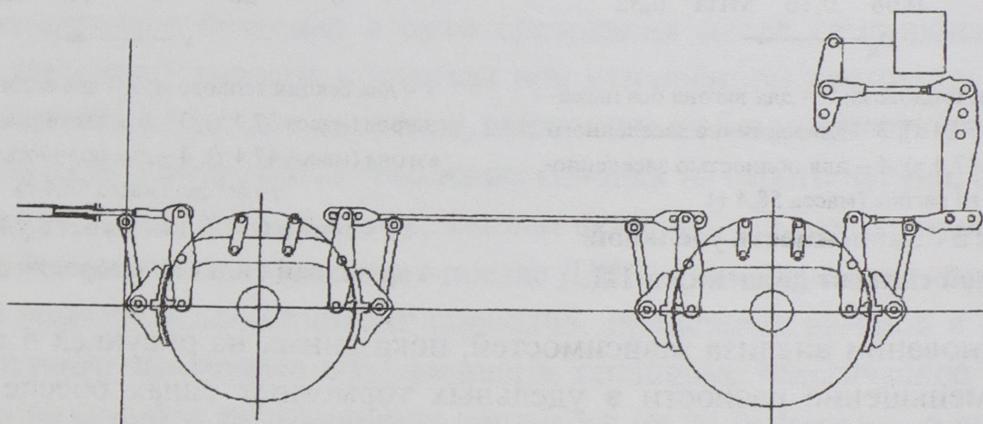
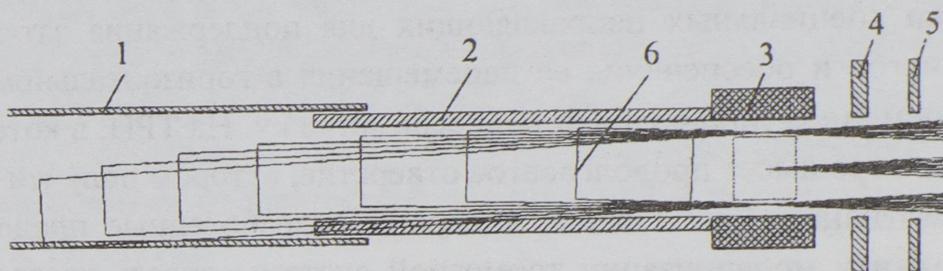


Рисунок 7 – ТРП тележки прицепного вагона дизель-поезда ДДБ1

Установлено, что конструкция ТРП не позволяет обеспечить ее нормальную работу в пределах эксплуатационных размеров диаметров колес и толщи-

ны тормозных колодок. При определенных сочетаниях указанных размеров происходит заклинивание тяги пневматического регулятора выхода штока в шпинделе или стакане. В результате в тяге возникают изгибающие деформации, усилие от которых передается на вертикальный рычаг передачи и далее на колодку. Траектория перемещения тяги в регуляторе показана на рисунке 8. Самопроизвольному прижатию способствует также несовершенство применяемых способов регулирования ТРП.



1 – стакан; 2 – шпindel; 3 – резиновая втулка; 4 – опора гайки; 5 – кольцо; 6 – тяга
Рисунок 8 – Перемещение тяги в регуляторе при износе колес и колодок

Разработаны рекомендации по регулированию ТРП, которые приведены в таблице. На основании предложенных рекомендаций в локомотивном депо Полоцк разработана и службой локомотивного хозяйства утверждена инструкция. Соблюдение рекомендаций по регулированию позволило уменьшить частоту повторяемости самопроизвольного прижатия в 10 раз.

Таблица – Рекомендуемые размеры ТРП прицепного вагона дизель-поезда ДДБ1

Номер градации колес по диаметру	Средний диаметр колес $D_{ср}$, мм	Длина большой тяги $l_{тб}$, мм	Длина малой тяги $l_{тм}$, мм	Средний диаметр колес $D_{ср}$, мм	Положение роликов в большой тяге
1	964 – 934	1720	460	964 – 934	АР     ТЦ
2	934 – 904	1660	445	934 – 919	АР     ТЦ
				919 – 904	АР     ТЦ
3	904 – 874	1600	445	904 – 874	АР     ТЦ
4	874 – 844	1540	445	874 – 859	АР     ТЦ
				859 – 844	АР     ТЦ

Примечание: АР – головка тяги со стороны пневматического авторегулятора ТРП; ТЦ – головка тяги со стороны тормозного цилиндра.

Избежать жесткого взаимодействия тяги регулятора и шпинделя можно за счет уменьшения отклонения тяги от горизонтального положения или увеличения ее свободного перемещения при больших отклонениях. На основе моделирования установлено, что самопроизвольное прижатие колодок позволяют исключить следующие конструктивные изменения: 1) использование тяги регулятора, головка которой имеет продолговатое в вертикальном направлении отверстие для соединения с вертикальным рычагом; 2) введение дополнительного

соединительного звена (серьги) между головкой тяги регулятора и вертикальным рычагом; 3) увеличение внутренних диаметров шпинделя и стакана, что приведет к увеличению свободного перемещения тяги при больших отклонениях ее от горизонтального положения; 4) изменение крепления пневматического регулятора на раме тележки с жесткого на шарнирное, что требует изменения конструкции регулятора; 5) изменение размеров подвески затяжки и смещение кронштейнов подвески в сторону пневматического регулятора; 6) установка на раме тележки специальных направляющих для поддержания затяжки вертикальных рычагов и обеспечения ее перемещения в горизонтальном направлении с одновременной ликвидацией подвесок затяжки. На ТРП, в которой головка тяги регулятора имеет продолговатое отверстие, автором получен патент.

В локомотивном депо Полоцк внедрены разработанные предложения по второму варианту модернизации тормозной системы дизель-поездов ДДБ1, о чем отмечено в аналитическом докладе Государственного комитета по науке и технологиям Республики Беларусь, подготовленном к I съезду ученых.

Годовой экономический эффект от внедрения рекомендаций по регулированию и модернизации ТРП составляет 29.413.700 рублей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации сводятся к следующему:

1 Выведены расчетные формулы для определения эффективного радиуса трения в дисковом тормозе с накладками наиболее распространенных форм. При выводе формул учтены особенности образования тормозного момента на диске. Теоретически показано, что эффективный радиус трения не зависит от угла взаимного перекрытия диска и накладки и является функцией геометрических характеристик площади фрикционного контакта. Применение предлагаемых формул позволяет на стадии проектирования повысить точность определения основных силовых и геометрических параметров дискового тормоза, заложить основы тормозных расчетов и получать объективные результаты при исследованиях триботехнических характеристик фрикционных пар трения [2, 7, 17, 18, 24, 25, 31].

2 Разработана методика расчета координат точки приложения силы нажатия в дисковом тормозе для обеспечения равномерного износа тормозных накладок. По сравнению с известными она учитывает зависимость распределения давления от фрикционных свойств материала и может применяться при расчете геометрических параметров дискового тормоза с накладками, имеющими поверхность трения любой геометрической формы. Применение предлагаемой методики позволит сократить затраты и объем экспериментальных работ при проектировании [12, 23].

3 Впервые предложен теоретический критерий, позволяющий произвести

оценку неравномерности износа тормозных накладок в дисковом тормозе – коэффициент неравномерности износа, представляющий собой тангенс угла поворота накладки при износе на единицу линейного размера в точке, лежащей на оси симметрии накладки. Даны аналитические выражения для определения коэффициента неравномерности износа. Показано, что с помощью указанного критерия при известных силовых и геометрических параметрах дискового тормоза можно прогнозировать характер износа накладок [2, 7, 15].

4 Впервые установлены теоретические зависимости распределения давления в дисковом тормозе при неравномерном износе накладок исходя из условия изнашивания фрикционных элементов в плоскости диска. Полученные зависимости позволяют произвести оценку влияния величины смещения точки приложения силы нажатия на распределение давления и неравномерность износа накладок [2, 7, 11, 15, 22].

5 Предложен принцип поддержания постоянной разности удельной тормозной силы между вагонами и тяговыми единицами дизель-поезда ДДБ1 при снижении скорости движения, положенный в основу расчетов параметров скоростного регулирования тормозной силы тепловоза и обеспечивающий положительное влияние на продольную динамику поезда, что подтверждено практически [4, 9, 13, 14, 16, 26, 27, 29, 32, 33, 34, 36, 37].

6 Экспериментально установлено, что фактическая тормозная эффективность тормозных колодок из серого чугуна на 20 % ниже, а из чугуна с повышенным содержанием фосфора на 10 % выше показателей, закладываемых в современных проектных расчетах. В результате этого в дизель-поезде ДДБ1 при экстренном торможении расчетный тормозной коэффициент порожних прицепных вагонов в 2,66 раза превышает расчетный тормозной коэффициент тепловоза, что способствует возникновению повышенных продольных динамических сил в поезде при торможении [1, 3, 4, 5, 6, 9, 10, 16, 21].

7 Установлено, что динамические удары в дизель-поезде ДДБ1 при торможении вызваны различием в параметрах тормозных систем вагонов и тепловоза, приводящим к значительному опережению роста удельной тормозной силы вагонов по сравнению с секцией тепловоза. Проведен теоретический анализ и натурные исследования на дизель-поездах ДДБ1 различных вариантов улучшения продольной динамики. Улучшать продольную динамику предложено за счет ускорения наполнения тормозных цилиндров секции тепловоза путем увеличения отверстия в седле тормозного клапана до 1,90–1,95 мм с одновременным регулированием электровоздухораспределителя на минимальное время наполнения тормозных цилиндров до 0,3 МПа за 2,5 с [10, 19, 21].

8 Предложена математическая модель тормозной рычажной передачи тележки прицепного вагона дизель-поезда ДДБ1, основанная на итерационном методе вычисления координат элементов передачи, имеющих несколько степе-

ней свободы. Эта модель отличается от известных тем, что впервые моделируется работа рычажной передачи с пневматическим регулятором выхода штока тормозного цилиндра [8, 28, 30].

9 В результате моделирования установлено, что причиной самопроизвольного прижатия тормозных колодок в дизель-поезде ДДБ1 является заклинивание тяги пневматического регулятора в шпинделе при неблагоприятных сочетаниях размеров элементов рычажной передачи и диаметров колес. Даны рекомендации по регулированию и предложены пути совершенствования рычажной передачи тележки прицепного вагона дизель-поезда ДДБ1, позволяющие исключить самопроизвольное прижатие тормозных колодок к колесам [8, 20, 35].

Рекомендации по практическому использованию результатов:

1 Предложенные принципы построения системы скоростного регулирования тормозной силы секций тепловоза в дизель-поездах ДРБ1 для исключения динамических ударов при торможении используются в локомотивных депо Полоцк и Могилев (акт №287-08-11/57 от 6.02.2007 локомотивного депо Полоцк).

2 Предложенный способ ускорения наполнения тормозных цилиндров секции тепловоза, позволяющий улучшить продольную динамику дизель-поездов ДДБ1 при торможении, используется в локомотивных депо Полоцк и Витебск (акт № 76-17-20/33 от 08.02.2007 транспортного РУП «Витебское отделение Белорусской железной дороги»).

3 Утвержденная службой локомотивного хозяйства Белорусской железной дороги инструкция по регулированию тормозной рычажной передачи прицепного вагона дизель-поезда ДДБ1, разработанная с учетом предложенных автором рекомендаций, используется локомотивными депо Витебск, Полоцк и Лида. Соблюдение требований инструкции позволило в 10 раз сократить частоту повторяемости самопроизвольных прижатий тормозных колодок к колесам (акт № 17-04-07/4045 от 14.02.2007 Белорусской железной дороги).

4 Предложенный вариант модернизации тормозной рычажной передачи прицепного вагона дизель-поезда ДДБ1 реализован в локомотивном депо Полоцк, что позволило исключить самопроизвольное прижатие тормозных колодок к колесам (акт № 17-04-07/4045 от 14.02.2007 Белорусской железной дороги).

5 Разработанное программное обеспечение моделирования тормозной рычажной передачи прицепного вагона может использоваться в локомотивных и вагонных депо, а также в учебном процессе транспортных учебных заведений.

6 Конструкция тормозной рычажной передачи с измененной формой отверстия в головке тяги пневматического регулятора выхода штока защищена патентом на полезную модель [35].

7 Тормозные системы, предлагаемые для автоматизации процесса скоростного регулирования на дизель-поездах ДРБ1 тормозных нажатий с целью улучшения продольной динамики, защищены пятью патентами [32, 33, 34, 36, 37].

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журналах

- 1 Галай, Э.И. Проблемы торможения пассажирского состава / Э.И. Галай, П.К. Рудов // Локомотив. – 2003. – №4. – С. 30 – 32.
- 2 Рудов, П.К. Влияние неравномерности износа накладок дискового тормоза на эффективный радиус трения / П.К. Рудов // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2003. – № 2(7). – С. 47–50.
- 3 Галай, Э.И. Эффективность тормозных средств пассажирских поездов / Э.И. Галай, П.К. Рудов, Е.Э. Галай // Вісник Східноукраїнського національного університету імені В. Даля: науковий журнал. – 2004. – № 8. – С. 88 – 92.
- 4 Эффективный тормоз для электропоездов / Э.И. Галай, М.В. Куровский, П.К. Рудов, О.А. Сидорович // Локомотив. – 2005. – № 4. – С. 22 – 26.
- 5 Тормозные колодки для электропоездов: чугунные или композиционные / Э.И. Галай, П. К. Рудов, Е.Э. Галай, О.А. Сидорович // Локомотив. – 2005. – № 6. – С. 34 – 35.
- 6 Галай, Э.И. Эффективность торможения пассажирских поездов – фактическая и по нормативам / Э.И. Галай, П.К. Рудов // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2006. – Вип. 11. – С. 116 – 119.
- 7 Рудов, П.К. Методика расчета эффективного радиуса трения в дисковом тормозе с накладками трапецеидальной формы / П.К. Рудов // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2006. – № 1-2(12-13). – С. 15–21.
- 8 Рудов, П.К. Модернизация конструкции и способы регулирования тормозной рычажной передачи дизель-поездов и электропоездов / П.К. Рудов // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2007. – № 1. – С. 14–19.
- 9 Галай, Э.И. Повышение эффективности тормозов пассажирских вагонов / Э.И. Галай, П.К. Рудов // Вагонный парк. – 2007. – № 2. – С. 12–15.
- 10 Рудов, П.К. Улучшение продольной динамики дизель-поезда ДДБ1 при торможении / П.К. Рудов // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2007. – № 1-2 (14-15). – С. 129–132.

Статьи в сборниках

- 11 Галай, Э.И. Исследование износа фрикционных накладок дискового тормоза дизель-поезда ДР1 / Э.И. Галай, П.К. Рудов // Совершенствование конструкции и технологии изготовления вагонов: межвуз. сб. науч. тр. / Белорус. гос. ун-т трансп.; под ред. Н.М. Ершовой. – Гомель, 1994. – С. 49–54.

12 Рудов, П.К. Выбор точки приложения силы нажатия для обеспечения равномерного износа фрикционных элементов дискового тормоза / П.К. Рудов // Совершенствование конструкции и технологии изготовления вагонов: межвуз. сб. науч. тр. / Белорус. гос. ун-т трансп.; под ред. Н.М. Ершовой. – Гомель, 1994. – С. 57–61.

13 Галай, Э.И. Исследование взаимодействия колодочных и дисковых тормозов дизель-поезда ДРБ-1 / Э.И. Галай, П.К. Рудов // Совершенствование конструкции, ремонта и обслуживания подвижного состава железных дорог: сб. науч. ст. / Белорус. гос. ун-т трансп.; под ред. В.И. Сенько. – Гомель, 1998. – С. 51–53.

14 Галай, Э.И. Выбор рациональных параметров процесса торможения при одновременном действии колодочного и дискового тормозов / Э.И. Галай, П.К. Рудов // Совершенствование конструкции, ремонта и обслуживания подвижного состава железных дорог: сб. науч. ст. / Белорус. гос. ун-т трансп.; под ред. В.И. Сенько. – Гомель, 1998. – С. 74-77.

Статьи в материалах конференций

15 Рудов, П.К. Исследование неравномерного износа накладок дискового тормоза / П.К. Рудов // Трибофатика: праці 4-го Міжнар. симпозіуму з трибофатики (ISTF 4), Тернопіль (Україна), 23–27 вересня 2002 р. / Тернопільський держ. техн. ун-т ім. Івана Пулюя; відп. ред. В.Т.Трощенко. – Тернопіль, 2002. – С. 772–776.

16 Галай, Э.И. Модернизация тормозной системы скоростного пассажирского вагона / Э.И. Галай, П.К. Рудов // Подвижной состав железнодорожного транспорта: материалы междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию со дня рожд. профессора Н.З. Криворучко, Гомель, 2004 г. // Белорус. гос. ун-т трансп.; под общ. ред. В.И. Сенько. – Гомель, 2004. – С. 22 – 27.

17 Галай, Э.И. Анализ методов расчета эффективного радиуса трения в дисковом тормозе / Э.И. Галай, П.К. Рудов // Проблемы безопасности на транспорте: материалы III Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 2005 г. / Белорус. гос. ун-т трансп.; под общ. ред. В.И. Сенько. – Гомель, 2005. – С. 64 – 66.

18 Рудов, П.К. Эффективный радиус трения в дисковом тормозе дизель-поезда ДР1А / П.К. Рудов // Проблемы безопасности на транспорте: материалы III Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 2005 г. / Белорус. гос. ун-т трансп.; под общ. ред. В.И. Сенько. – Гомель, 2005. – С. 87 – 89.

19 Рудов, П.К. Исследование процесса торможения дизель-поезда ДДБ1 с вагоном-кабиной управления / П.К. Рудов, Е.А. Кожевников // Проблемы безопасности на транспорте: материалы III Междунар. науч.-практ. конф., Го-

мель, 2005 г. / Белорус. гос. ун-т трансп.; под общ. ред. В.И. Сенько. – Гомель, 2005. – С. 89 – 91.

20 Галай Э.И. Совершенствование тормозной рычажной передачи дизель-поездов и электропоездов / Э.И. Галай, П.К. Рудов // Наука, инновации и образование: актуальные проблемы развития транспортного комплекса России: Материалы междунаро. науч.-техн. конф., Екатеринбург, 16–17 ноября 2006 г. / Уральский гос. ун-т путей сообщ.; под общ. ред. В.М. Сай. – Екатеринбург, 2006. – С. 124–125.

21 Галай, Э.И. Снижение продольных динамических усилий при торможении дизель-поезда ДДБ1 / Э.И. Галай, П.К. Рудов, Е.А. Кожевников // Наука, инновации и образование: актуальные проблемы развития транспортного комплекса России: Материалы междунаро. науч.-техн. конф., Екатеринбург, 16–17 ноября 2006 г. / Уральский гос. ун-т путей сообщ.; под общ. ред. В.М. Сай. – Екатеринбург, 2006. – С. 126–127.

Тезисы докладов

22 Галай, Э.И. О неравномерном износе накладок дисковых тормозов / Э.И. Галай, П.К. Рудов // VIII конференция: Проблемы механики железнодорожного транспорта: Динамика, прочность и надежность подвижного состава: тез. докл. конф., Днепропетровск, май 1992 г. / Днепропетровский ин-т инж. ж.-д. трансп., ин-т техн. механики АН Украины, Приднепровское отделение Междунар. инж. акад. и Акад. инж. наук Украины, Приднепровский науч. центр АН Украины; редкол.: Е.П. Блохин [и др.]. – Днепропетровск, 1992. – С. 91.

23 Сысоев, П.В. Выбор конструктивных характеристик дискового тормоза для обеспечения равномерного износа фрикционных элементов / П.В. Сысоев, Э.И. Галай, П.К. Рудов // Трение, изнашивание, усталость: тез. докл. на Междунар. Симпозиуме по Трибофатике, Гомель, 1993 г. / Белорус. ин-т инж. ж.-д. трансп.; ред. Л.А. Сосновский. – Гомель, 1993. – С. 92—93.

24 Рудов, П.К. Совершенствование методики расчета тормозной силы при дисковых тормозах / П.К. Рудов // Проблемы повышения функциональной и экономической устойчивости работы транспортного комплекса и его кадрового обеспечения в условиях рынка: тез. докл. междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 1993 г. / Белорус. ин-т инж. ж.-д. трансп., редкол.: П.С. Грунтов [и др.]. – Гомель, 1993. – С. 90-91.

25 Галай, Э.И. О расчетном значении радиуса трения в дисковом тормозе / Э.И. Галай, П.К. Рудов, В.М. Горский // Актуальные вопросы совершенствования конструкции вагонов и развития вагоноремонтной базы: тез. докл. междунар. науч.-практ. конф., посвящ. памяти проф. Н.З. Криворучко, Гомель, 3–4

ноября 1995 г. / Белорус гос. ун-т трансп.; редкол.: Э.И. Галай [и др.]. – Гомель, 1995. – С. 7-8.

26 Галай, Э.И. О рациональных триботехнических характеристиках композиций для железнодорожных тормозов / Э.И. Галай, П.К. Рудов // Актуальные вопросы совершенствования конструкции вагонов и развития вагоноремонтной базы: тез. докл. междунар. науч.-практ. конф., посвящ. памяти проф. Н.З. Криворучко, Гомель, 3–4 ноября 1995 г. / Белорус гос. ун-т трансп.; редкол.: Э.И. Галай [и др.]. – Гомель, 1995. – С. 44-45.

27 Галай, Э.И. Особенности взаимодействия колодочных и дисковых тормозов / Э.И. Галай, П.К. Рудов // Проблемы развития рельсового транспорта: тез. докл. VII Междунар. науч.-техн. конф., Крым, Ливадия, 29 сент. – 4 окт. 1997 г. / Восточноукр. гос. ун-т; редкол.: А.Л. Голубенко [и др.]. – Луганск, 1997 – С. 7-8.

28 Рудов, П.К. Расчет перемещения габаритных точек рычажной передачи тележки / П.К. Рудов, В.А. Юдин // Актуальные проблемы развития транспортных систем: тез. докл. междунар. науч.-техн. конф., Гомель, 1998 г. / Белорус. гос. ун-т трансп.; под общ. ред. В.П. Ярошевича. – Гомель, 1998. – С. 135.

29 Галай, Э.И. Рациональные режимы торможения при совместном действии колодочных и дисковых тормозов дизель-поезда с локомотивной тягой / Э.И. Галай, П.К. Рудов // Железнодорожный транспорт сегодня и завтра: тез. докл. юбилейн. науч.-техн. конф., Екатеринбург, 1998 г.: в 2 ч. / Уральская гос. акад. путей сообщ. – Екатеринбург, 1998. – Ч. 1. – С. 48.

30 Рудов, П.К. Компьютерное моделирование тормозной рычажной передачи тележки прицепного вагона дизель-поезда ДДБ1 / П.К. Рудов // Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса: тез. докл. Международ. науч.-практ. конф., в 2 ч. / Белорус. гос. ун-т трансп.; под общ. ред. В.И. Сенько. – Гомель, 2003. – Ч. 1. – С. 46–47.

31 Рудов, П.К. Эффективный радиус трения в дисковом тормозе при равномерном износе накладок / П.К. Рудов // Проблемы и перспективы развития транспортных систем и строительного комплекса: тез. докл. Международ. науч.-практ. конф., в 2 ч. / Белорус. гос. ун-т трансп.; под общ. ред. В.И. Сенько. – Гомель, 2003. – Ч. 1. – С. 47–49.

Патенты

32 Тормозная система железнодорожного транспортного средства: пат. 4989 Респ. Беларусь, МПК7 В 60Т 8/58, 13/36 / Э.И. Галай, П.К. Рудов; заявитель Белорус. гос. ун-т трансп. – № 970210; заявл. 15.04.97, опубл. 30.03.03 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2003. – № 1. – С. 114–115.

33 Тормозная система железнодорожного транспортного средства: пат. 1344 Респ. Беларусь на карысную мадэль, МПК7 В 61Н 13/20 / П.К. Рудов, Э.И. Галай; заявитель Белорус. гос. ун-т трансп. – № и 20030402; заявл. 12.09.03, опубл. 30.03.04 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2004. – № 1. – С. 240–241.

34 Тормозная система железнодорожного транспортного средства: пат. 38701 Российской Федерации на полезную модель, МПК7 В 60Т 8/58, 13/36 / Э.И. Галай, П.К. Рудов; заявитель Белорус. гос. ун-т трансп. – № 2004104697; заявл. 17.02.04, опубл. 10.07.04 // Официальный бюл. / Федеральная служба по интеллектуал. собств., патентам и тов. знакам. – 2004. – № 19.

35 Тормозная рычажная передача тележки железнодорожного транспортного средства: пат. 1836 Респ. Беларусь на карысную мадэль, МПК7 В 61Н 13/20 / Э.И. Галай, П.К. Рудов, В.И. Барановский; заявитель Белорус. гос. ун-т трансп. – № и 20040391; заявл. 09.08.04, опубл. 30.03.05 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2005. – № 1. – С. 223–224.

36 Тормозная система железнодорожного транспортного средства: пат. 2354 Респ. Беларусь на карысную мадэль, МПК7 В 61Н 13/00 / Э.И. Галай, П.К. Рудов, С.В. Рыбаков; заявитель Белорус. гос. ун-т трансп. – № и 20050335; заявл. 03.06.05, опубл. 30.12.05 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2006 – № 4, ч. 2. – С. 37–38.

37 Тормозная система железнодорожного транспортного средства: пат. 2292278 Российской Федерации, МПК7 В 60Т 13/36, 13/66, 15/36 / Э.И. Галай, П.К. Рудов; заявитель Белорус. гос. ун-т трансп. – № 2004129540/11; заявл. 07.10. 04, опубл. 27.01.07 // Официальный бюл. / Федеральная служба по интеллектуал. собств., патентам и тов. знакам. – 2007. – № 3.

РЕЗЮМЕ

Рудов Павел Корнеевич

Рациональные параметры тормозных систем дизель-поездов с учетом изменения их характеристик при эксплуатации

Ключевые слова: дизель-поезд, тормоз, методы расчета, эффективный радиус трения, продольная динамика поезда, тормозная рычажная передача.

Цель работы – повышение безопасности перевозок за счет рационального использования фрикционных свойств и ресурса тормозных накладок и колодок, снижения продольных динамических сил и исключения самопроизвольного прижатия тормозных колодок путем совершенствования методов расчета и моделирования параметров тормозных систем дизель-поездов с колодочными и дисковыми тормозами.

Разработана научно-обоснованная методика определения эффективного радиуса трения в дисковом тормозе, повышающая точность тормозных расчетов. Изложены методы определения координат точки приложения силы нажатия при равномерном износе накладок.

Установлены причины возникновения повышенных динамических сил в дизель-поездах с локомотивной тягой. Предложены рекомендации по улучшению продольной динамики. Их эффективность проверена экспериментально.

Создана математическая модель тормозной рычажной передачи прицепного вагона дизель-поезда ДДБ1. На основе моделирования исследована работа рычажной передачи и установлены причины самопроизвольного прижатия тормозных колодок к колесам в пути следования. Разработаны конструктивные и технологические мероприятия по устранению этого явления.

Разработанные методы расчета дисковых тормозов могут быть использованы конструкторскими бюро на стадии проектирования и при выполнении тормозных расчетов в эксплуатации. Предложенные способы улучшения продольной динамики используются в локомотивных депо Полоцк и Могилев. На основе рекомендаций в локомотивном депо Полоцк разработана и утверждена службой локомотивного хозяйства инструкция по регулированию рычажной передачи прицепного вагона ДДБ1, а также произведена ее модернизация. За счет исключения самопроизвольного прижатия колодок повышена безопасность движения поездов и увеличен срок службы колодок.

Рацыянальныя параметры тармазных сістэм дызель-цягнікоў
з улікам змянення іх характарыстык пры эксплуатацыі

Ключавыя словы: дызель-цягнік, тормаз, метады разліку, эфектыўны радыус трэння, падоўжная дынаміка цягніка, тармазная рычажная перадача.

Мэта работы – павышэнне бяспекі перавозак за кошт рацыянальнага выкарыстоўвання фрыкцыйных уласцівасцяў і рэсурсу тармажных накладак і калодак, зніжэння падоўжных дынамічных сіл і выключэння самаадвольнага прыціскання тармажных калодак шляхам удасканалення метадаў разліку і мадэліравання параметраў тармажных сістэм дызель-цягнікоў з калодачнымі і дыскавымі тармазамі.

Распрацавана навукова-абгрунтаваная метадыка вызначэння эфектыўнага радыусу трэння ў дыскавым тормазе, якая павышае дакладнасць тармажных разлікаў. Выкладзены метады вызначэння каардынат кропкі прыкладання сілы націску пры раўнамернам зносе накладак.

Вызначаны прычыны узнікнення павышаных дынамічных сіл у дызель-цягніках з лакаматыўнай цягай. Прапанаваны рэкамендацыі па паляпшэнню падоўжнай дынамікі. Іх эфектыўнасць правярана эксперыментальна.

Створана матэматычная мадэль тармажнай рычажнай перадачы прычাপнога вагона дызель-цягніка ДДБ1. На аснове мадэліравання даследавана работа рычажнай перадачы і вызначаны прычыны самаадвольнага прыціску тармажных калодак да колаў пад час руху. Распрацаваны канструктыўныя і тэхналагічныя мерапрыемствы па ўстараненню гэтай з’явы.

Распрацаваныя метады разліку дыскавых тармазов могуць выкарыстоўвацца канструктарскімі бюро на стадыі праектавання і пры выкананні тармажных разлікаў у эксплуатацыі. Прапанаваныя спосабы паляпшэння падоўжнай дынамікі выкарыстоўваюцца ў лакаматыўных дэпо Полацк і Магілёў. На аснове рэкамендацый ў лакаматыўным дэпо Полацк распрацавана і зацверджана службай лакаматыўнай гаспадаркі інструкцыя по регуляванню рычажнай перадачы прычاپнога вагона ДДБ1, а таксама праведзена яе мадэрнізацыя. За кошт выключэння самаадвольнага прыціску калодак павышана беспэка руху цягнікоў і павялічаны тэрмін службы калодак.

SUMMARY

Rudov Pavel Kormeyevich

Rational parameters of diesel train set braking systems taking into account their characteristics change during operation

Key words: diesel train set, brake, calculation methods, effective friction radius, longitudinal train dynamics, brake lever transmission

Aim of the work – increase of transportation safety at the account of the use of friction properties and braking shoes and plates resource, decrease of longitudinal dynamic forces and providing of no failure operation of brake shoe and disk brakes in diesel train sets by improvement of their parameters and design calculation methods.

We developed scientifically based methods of determination of disk brake effective friction radius, rising brake calculation accuracy. We also offer method of determination of the pressing force point coordinates at even brake shoes wear.

There were found out the reasons of appearance of increased dynamic forces in diesel train sets with locomotive traction. Recommendations on perfection of longitudinal dynamics are offered. Their efficiency is proved experimentally.

We developed mathematical pattern of brake lever transmission of a trailer car of the DDB1 diesel train set. On the basis of simulation we investigated lever transmission operation and found out the reasons of spontaneous pressing of braking shoes to the wheels in the course. Constructive and engineering measures for their elimination are developed.

The developed calculation methods of disc brakes can be used in design at the stage of project and at braking calculation during operation. Offered methods of longitudinal dynamics improvement are used in locomotive depots of Polotsk and Mogilev. At the basis of recommendations at the Polotsk locomotive depot it was developed and authorized by the locomotive department service the instruction on lever transmission of trailer car DDB1 adjustment, and its modernization was made. At the account of elimination of spontaneous pressing of braking shoes the transportation safety was increased and the term and the term of their life grows up.

Научное издание

РУДОВ Павел Корнеевич

**РАЦИОНАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ТОРМОЗНЫХ СИСТЕМ
ДИЗЕЛЬ-ПОЕЗДОВ С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ ИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

05.22.07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 13.11.07. Формат 60×84 1/16.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать на ризографе.
Усл. печ. л. 1,5. Тираж 100 экз. Зак. № 2549.

Типография УО «БелГУТ», 246022, г. Гомель, ул. Кирова, 34.
Лиц. № 02330/0148780 от 30.04.2004 г.