

Б20

МИНИСТЕРСТВО ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ СССР
ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ИНСТИТУТ
ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
ИМЕНИ М.И. КАЛИНИНА

На правах рукописи

Кандидат технических наук, доцент
БАЛОН Леонид Вениаминович

УДК 629.4.077-529.35

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОРМОЖЕНИЯ
ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО
ТРАНСПОРТА

05.22.07 - Подвижной состав железных дорог
и тяга поездов

05.22.12 - Промышленный транспорт

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Днепропетровск
1991

Работа выполнена в Ростовском ордена Трудового Красного Знамени институте инженеров железнодорожного транспорта

Официальные оппоненты:

- доктор технических наук Борис Данилович НИКИФОРОВ;
- доктор технических наук, профессор
Игорь Георгиевич КИСЕЛЕВ;
- доктор технических наук, главный научный сотрудник
Леонид Александрович ВУКОЛОВ.

Ведущее предприятие - транспортный отдел Министерства металлургии СССР.

Защита диссертации состоится "1" ноября 1991 года в 15 часов 00 мин., на заседании специализированного совета Д 114.07.01 при Днепропетровском институте инженеров железнодорожного транспорта по адресу: 320700, ГСП, г. Днепропетровск, ул. им. академика Лазаряна, 2

Автореферат разослан "1" 09 1991 года

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, просим направлять в совет института.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Перспективы развития народного хозяйства страны определяют дальнейший рост перевозок железнодорожным транспортом за счет повышения скоростей движения и весовых норм поездов.

Развитие сырьевой базы страны может быть выполнено за счет технического перевооружения железнодорожного транспорта на основе кардинального ускорения научно-технического прогресса.

Высокие темпы развития открытого способа добычи полезных ископаемых и увеличение глубины вывозки горной массы железнодорожным транспортом, являющимся наиболее экономичным и бесперебойно работающим в любых климатических условиях, вызывает необходимость увеличения руководящих уклонов вывозной траншеи до 60% уже в настоящее время и до 80% в ближайшие 5-10 лет.

Решение таких сложных задач возможно только путем повышения мощности тяговых и тормозных средств подвижного состава промышленного железнодорожного транспорта.

В этих условиях первостепенное значение приобретают вопросы обеспечения безопасности движения поездов, неразрывно связанные со степенью совершенствования и надежностью действия тормозных средств.

Отсутствие надежных и мощных тормозных систем не позволяет расширить диапазон применения железнодорожного транспорта - использования его на больших уклонах. Поэтому весьма актуальным является проведение комплекса теоретических и экспериментальных исследований для создания тормозной системы повышенной эффективности, решающей проблему эксплуатации подвижного состава промышленного железнодорожного транспорта на уклонах до 60% включительно, а в перспективе и выше.

5602a

Лимитирующим фактором эффективности действия колодочного, дискового и электрического тормозов является ограниченность силы сцепления колес с рельсами.

Обзор современной литературы и проведенный теоретический анализ позволили установить, что из всех существующих тормозных систем для обеспечения безопасного движения железнодорожного транспорта на уклонах 60‰ и выше наиболее целесообразным вариантом является оборудование локомотивов - тяговых агрегатов электромагнитными рельсовыми тормозами (ЭМРТ), действие которых не зависит от силы сцепления колеса с рельсом, что допускает их одновременное применение с любым видом тормоза.

Интенсификация работ, направленных на совершенствование тормозной системы карьерных поездов, работающих в тяжелых условиях, является одним из перспективных направлений, так как способствует расширению области применения сравнительно дешевого железнодорожного транспорта.

В период с 1966 г. по 1991 г. решены основные вопросы по теме диссертации, которые представляли одно из ведущих направлений научно-исследовательских работ РИИЖТа в области повышения эффективности торможения железнодорожного подвижного состава. Проблема, решаемая в диссертации имеет непосредственную связь с Государственными научными программами по совершенствованию работы железнодорожного транспорта и выполнялась в соответствии с постановлением СМ СССР № 860 от 15.12.1972 г. и Государственного комитета СССР по науке и технике № 555 от 30.10.1985 г., о создании новых типов промышленного электроподвижного состава.

Цель работы. Повысить тормозобеспеченность железнодорожного транспорта, расширить сферу его применения и возможность безопасного движения на уклонах 60‰ и выше, для чего необходимо было

решить комплекс следующих основных научно-исследовательских и опытно-конструкторских задач:

1. Установить допустимую область применения существующих тормозных систем, обосновать выбор тормоза повышенной эффективности для эксплуатации железнодорожного транспорта на крутых уклонах.

2. Провести цикл теоретических и экспериментальных исследований для определения рациональных параметров ЭМРТ и создания его конструкции с учетом условий эксплуатации промышленного железнодорожного транспорта.

3. Исследовать процессы торможения подвижного состава промышленного железнодорожного транспорта на крутых уклонах, оборудованного различными по быстродействию и фрикционным свойствам тормозами, развить существующие методы тормозных расчетов применительно к этим условиям.

4. Экспериментально и теоретически установить основные функциональные зависимости тормозной силы ЭМРТ и выявить влияние на нее различных факторов. Разработать методы измерения основных параметров ЭМРТ.

5. Исследовать возникающие продольно-динамические усилия в сцеплениях карьерного поезда при совместной работе различных по скорости срабатывания пневматических и электромагнитных тормозов.

6. Теоретически и экспериментально исследовать поперечные ремещения башмака ЭМРТ относительно оси рельса, проходимость стрелочных переводов и кривых малого радиуса.

7. Экономически обосновать внедрение ЭМРТ.

8. Намечить пути дальнейшего развития тормозных систем для возможности эксплуатации железнодорожного подвижного состава на уклонах более 60%.

Общая методика исследований. Исследования выполнялись теоретическими и экспериментальными методами, базирующимися на применении основных положений теории планирования эксперимента, принципах подобия и моделирования, математической статистики, теории ошибок.

Составление математических моделей движения карьерного поезда при торможении, продольно-динамических усилий в различных его сечениях, поперечных перемещений башмака ЭМРТ и магнитной системы производилось на основе анализа реальных параметров, входящих в процесс.

Изучались основные факторы, устанавливалась их взаимосвязь. Достоверность полученных теоретических результатов подтверждалась сходимостью с данными натурных испытаний или полученными при электронном или физическом моделировании.

Разрабатывались конкретные рекомендации по изменению конструкции тормозов, изготавливались опытные образцы, производилась расчетная и экспериментальная оценка их эффективности и внедрения в производство.

Экспериментальные исследования выполнялись в лабораториях РИИЖТа, институтов машиноведения АН СССР и УССР, в натурных условиях на крупнейших карьерах открытых горных разработок, имеющих спуски крутизной 40-60%: Соколовско-Сорбайский, Джетыгаринский и Лебединский ГОКи, на Коркинском и Экибастузском угольном разрезах, на Череповецком металлургическом комбинате, на путях Днепропетровского локомотивостроительного завода, на Опытном кольце ВНИИЖТа, на участке Белореченская-Майкоп.

Научная новизна. Совокупность полученных в диссертации результатов теоретических и экспериментальных исследований явилась научной основой для создания высокоэффективной тормозной системы, решающей важную народнохозяйственную проблему использования

железнодорожного транспорта в карьерах, имеющих крутизну спуска более 40%.

Получены следующие основные научные результаты:

теоретически обосновано использование быстродействующего электромагнитного рельсового тормоза для железнодорожного промышленного транспорта;

на основании экспериментальных исследований и использования реальных характеристик существующих тормозных систем путем аналитического решения уравнения движения поезда осуществлено дальнейшее развитие методов тормозных расчетов для промышленного железнодорожного транспорта, оборудованного различными по быстродействию и фрикционным характеристикам тормозами, с учетом его движения на спусках более 40%;

уточнена методика расчета характеристик магнитной системы применительно к конструкции ЭМРТ, являющаяся основой для выбора его рациональных параметров;

установлены зависимости тормозной силы ЭМРТ от конструктивных и эксплуатационных факторов, на основе которых разработана и внедрена конструкция ЭМРТ для условий эксплуатации промышленного железнодорожного транспорта;

разработаны способы измерения основных параметров ЭМРТ – тормозной силы, силы притяжения башмака к рельсу, температуры рельса;

составлена математическая модель, описывающая реальные поперечные перемещения башмака ЭМРТ относительно оси рельса, исследована проходимость им стрелочных переводов, кривых малого радиуса;

исследованы характер изменения возникающих продольно-динамических усилий в сечениях карьерного поезда при совместной и раздельной работе пневматических и электромагнитных рельсовых тормозов, величина разгрузки осей колесных пар при торможении;

установлена зависимость коэффициента трения от скорости для разных материалов магнитопровода ЭМРТ в широком диапазоне ее изменения;

получена зависимость основного удельного сопротивления движению от скорости для тягового агрегата;

выведены формулы времени подготовки при раздельном и совместном действии различных тормозных систем;

на основании исследований даны рекомендации по выбору материала магнитопровода, износостойкости ЭМТ и рельса, определены поверхностные температуры рельса;

намечены пути дальнейшего совершенствования тормозных систем для возможности эксплуатации железнодорожного подвижного состава на спусках более 60%. Установлено, что для уклонов повышенной крутизны эффективность тормозной системы железнодорожного транспорта в большей степени зависит от начального быстродействия срабатывания, чем от величины последующего градиента нарастания тормозной силы.

Практическая ценность. Представленные в диссертации результаты выполненных исследований явились основой для создания электромагнитных рельсовых и совершенствования пневматических тормозов на промышленном железнодорожном транспорте и вытекали из конкретных задач, поставленных перед локомотивостроительными заводами, научно-исследовательскими и проектно-конструкторскими институтами об увеличении эффективности использования промышленного железнодорожного транспорта - эксплуатации на спусках крутизной до 60%, а в перспективе и выше.

Разработанные в диссертации методы расчетов и экспериментальных исследований позволяют на стадии проектирования определить рациональные параметры электромагнитного рельсового тормоза в зависимости от условий эксплуатации, оценить его эффективность и возможности, решить ряд задач, связанных с эксплуатацией этого вида тормоза на подвижном составе промышленного железнодорожного

транспорта, уменьшить затраты на создание макетных и опытных образцов, проведение натуральных испытаний подвижного состава, оборудованного ЭМРТ, сократить сроки создания новой конструкции.

Сформулированы технические требования к существующим и перспективным конструкциям электромагнитных рельсовых тормозов. Предложены конкретные технические решения по повышению готовности к действию, быстрдействию, неистощимости и надежности пневматических тормозных систем, регулируемому нажатию ЭМРТ для совместного применения с пневматическим и электродинамическим тормозами.

В созданных конструкциях электромагнитных рельсовых и пневматических тормозов, установленных на серийно выпускаемых тяговых агрегатах ПЭ2, ПЭ2М, ПЭ2У, ОПЭ2, ОПЭ1А, ОПЭ1АМ, ОПЭ1Б, ПЭЭ1 использованы рекомендации и изобретения автора.

Разработанные методы экспериментальных исследований, стенды, физические модели пригодны для использования в практике заводских лабораторий, научно-исследовательских организаций, занимающихся созданием тормозных систем.

Предложенные математические модели, методики исследований, полученные результаты являются научной основой математического обеспечения расчетов, связанных с созданием и эксплуатацией электромагнитного рельсового тормоза.

Подтвержденный экономический эффект от внедрения электромагнитных тормозов на один тяговый агрегат составил 23,0 тыс.руб. в год.

Реализация результатов работы. Основные положения теоретических и экспериментальных исследований, рекомендации, изложенные в диссертации, использованы Днепропетровским и Людиновским локомотивостроительными заводами при создании конструкции электромагнитных рельсовых тормозов, установленных на серийно выпускаемых тяговых агрегатах, опытных партиях маневровых тепловозов типа ТГМЭА,

ЭМРТ, эксплуатирующихся в настоящее время на горнодобывающих и металлургических предприятиях Минчермета, Минуглепрома, Минцветмета и Минстройматериалов СССР.

При непосредственном участии автора разработана техническая документация, проведены всесторонние испытания всех вариантов ЭМРТ на стадии проектирования, выпуска опытной партии и серийных образцов.

Диаграммы, методы расчета тормозных путей, разработанные нормы тормозных коэффициентов для подвижного состава промышленного железнодорожного транспорта в зависимости от скорости движения, уклона и быстрейшего действия тормозов с учетом оборудования локомотивов ЭМРТ, а также способ приведения тормозных коэффициентов пневмотормоза и ЭМРТ на локомотиве к тормозным коэффициентам чугунной тормозной колодки включены в официальные издания: в справочник "Электроподвижной состав промышленного транспорта". - М.: Транспорт, 1987; в утвержденные Главным управлением учебными заведениями МПС СССР в качестве лекций "Методы тормозных расчетов подвижного состава, оборудованного электромагнитными рельсовыми тормозами (ЭМРТ)". - Ростов-на-Дону, 1987.

Ряд положений выполненных исследований включены в учебники "Автотормоза". - М.: Транспорт, 1974; "Электроподвижной состав промышленного железнодорожного транспорта". - Киев, Вища школа, 1982; в книгу "Электромагнитные рельсовые тормоза". - М.: Транспорт, 1979. Результаты исследований используются инженерно-техническими работниками конструкторских бюро Днепропетровского и Людиновского локомотивостроительных заводов, ЦБ ЦТ МПС, ВНИПТИвагоностроения (г.Кременчуг), промышленных предприятий, связанных с проектированием, испытаниями, ремонтом и эксплуатацией тормозов, студентами и аспирантами в учебном процессе в транспортных вузах.

Апробация работы. Основные положения диссертации были доложены, обсуждены и одобрены на III Всесоюзной научно-технической конференции по карьерному транспорту (г.Свердловск, 1973 г.), на Всесоюзном научно-производственном семинаре "Пути повышения экономической эффективности и улучшения ремонта и эксплуатации подвижного состава на предприятиях черной металлургии СССР" (г.Иривой Рог, 1974 г.), на Всесоюзной научно-технической конференции "Создание локомотивов большой мощности и повышение их механического уровня" (г.Ворошиловград, 1981 г.); на VI Всесоюзной научно-технической конференции "Состояние и перспективы развития электровозостроения в стране" (г.Тбилиси, 1987 г.), на Всесоюзной конференции "Проблемы механики железнодорожного транспорта" г.Днепропетровск, 1988 г.), на выездной сессии межведомственного научного совета по трибологии при АН СССР, ГКНТ СССР и Союзе СССР по теме: "Повышение износостойкости транспортных и сельскохозяйственных машин (г.Ростов-на-Дону, 1986 г.), на Республиканском семинаре "Новые разработки средств и систем горного транспорта" (г.Киев, 1977 г.), на Республиканской конференции "Проблемы комплексной механизации открытых горных работ" (г.Киев, 1978 г.), на научно-практической конференции, посвященной 50-летию электрификации железных дорог СССР, ОММИТ и ДорНТО Западно-Сибирской и Южно-Уральской железных дорог (г.Омск, 1976 г.), на областной научно-технической конференции "Электрификация железнодорожного транспорта на открытых горных разработках" (г.Днепропетровск, 1977 г.), на тематической научно-технической конференции по проблеме автоматизации управления тормозами поезда, УЭМИИТ и НТО Свердловской железной дороги (г.Свердловск, 1979 г.), на научно-технических конференциях кафедр института и ДорНТО СЖД, на заседании специального проектно-конструкторского и технологического бюро по промышленным электровозам ДЭВЗа, транспортного управления МЧМ СССР, автотормозного отделения ВНИИЖТа.

Полностью диссертация рассматривалась на научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава и заседании кафедры "Вагоны и вагонное хозяйство" РИИЖТа, НТС специального проектно-конструкторского и технологического бюро по промышленным электровозам ДЭВЗа, транспортного управления ММ СССР, отделения "Автотормозного хозяйства" ВНИИЖТа, УИ Всесоюзной конференции по электровозостроению (г.Тбилиси), городском семинаре по механике (г.Днепропетровск).

Публикации. По теме диссертации выполнено 40 научно-исследовательских работ, опубликованы монография "Электромагнитные рельсовые тормоза", "Методы тормозных расчетов подвижного состава, оборудованного электромагнитными рельсовыми тормозами", справочник "Электроподвижной состав промышленного транспорта" и 72 статьи общим объемом 25 печатных листов. Новые технические решения по разработанным электромагнитным рельсовым и пневматическим тормозам защищены двенадцатью авторскими свидетельствами на изобретения. Список основных печатных работ приводится в конце автореферата.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 7 глав, заключения, списка использованной литературы и шести приложений. Материал диссертации изложен на 510 страницах машинописного текста, содержит 145 рисунков, 62 таблицы и библиографию из 248 наименований на 28 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

ВЫБОР ТОРМОЗНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ПРОМЫШЛЕННОГО ТРАНСПОРТА, ЭКСПЛУАТИРУЕМОГО НА УГЛОНАХ БОЛЕЕ 40%.

Преобладающую перспективу развития у нас в стране имеет открытый способ добычи полезных ископаемых, который идет по пути увеличения мощности и глубины карьеров. Проблема транспортирования горной массы в глубоких карьерах чрезвычайно сложна, трудоемка, зависит от множества факторов, поэтому не случайно ее решению посвящено так много научных трудов. К наиболее значительным в этой об-

ласти можно отнести исследования советских ученых: академика Н.В. Мельника, член-корреспондентов АН СССР В.В.Ржевского и Л.О.Спиваковского, докторов технических наук М.Г.Потапова, М.В.Васильева, В.Ф.Яковлева, К.Д.Бельх, Д.М.Беленького, А.Ю.Дриженко, проф. В.А.Кабдукова, Т.Ф.Кузнецова, М.Л.Коротенко, Г.И.Солода, О.М.Савчука, А.Н.Савоськина, С.Е.Блохина, М.Г.Новожилова, А.И.Щухова, канд.техн.наук В.А.Браташа, А.С.Хоружего, Г.Д.Забелина, С.Л.Фесенко, Г.М.Фроянца и других специалистов по промышленному железнодорожному транспорту и открытым горным работам.

В настоящее время одним из основных видов карьерного транспорта является железнодорожный транспорт. Его доминирующая роль как самостоятельного вида транспорта, так и в сочетании с автомобильным или конвейерным сохранится в будущем.

Для уменьшения горностроительных затрат и повышения эффективности использования карьерного транспорта наиболее целесообразен переход на руководящий уклон 60%, а в перспективе и выше.

Освоение больших уклонов требует решения ряда сложных транспортных задач, одной из которых является тормозообеспеченность подвижного состава промышленного железнодорожного транспорта.

Применяемые на подвижном составе промышленного транспорта в качестве основного тормоза прямодействующие автоматические тормоза с пневматическим управлением не могут обеспечить его надежную работу на больших уклонах. Их возможности в силу известных недостатков практически полностью исчерпываются на спусках крутизной до 40% при модернизированных воздухораспределителях усл. № 270-005-I, № 270-006 и № 498, конструкция которого пока дорабатывается.

Интенсификация работ, направленных на совершенствование тормозных систем промышленного подвижного состава, является одним из перспективных направлений, так как способствует расширению обла-

сти применения железнодорожного транспорта.

Развитию науки о торможении поездов, разработке конструкций тормозов, их усовершенствованию и внедрению на железнодорожном транспорте посвящены работы советских ученых В.Ф. Егорченко, Б.Л. Карвацкого, В.М. Казаринова, Д.Э. Карминского, В.Г. Иноземцева, А.В. Чичинадзе, П.Т.Гребенюка, В.Ф. Ясенцева, В.Д. Тулупова, Л.М. Пыжевича, И.К. Матросова, В.И. Крылова, Н.А. Албегова, Л.А. Вуколова, М.Д. Фокина, Б.Д. Никифорова, М.М. Соколова, Т.А. Тибилова, А.В. Козюлина, В.П. Терещенко, Е.В. Клыкова, И.К. Левина, В.В. Крылова, Г.В. Гогричiani, Ю.И. Копыта, М.Г. Погребинского, О.В. Бесценной, Г.В. Гнездиловой, М.И. Глушко, В.И. Головина, А.В. Казаринова, А.А. Шарунина, В.М. Фомченкова, Г.М. Елсакова, А.М. Ножевникова, Н.В. Маликова, И.М. Гендельмана, Г.Б. Никитина, В.Е. Полова, Н.С. Бунакова, А.И. Туркова, Л.В. Лобова и других.

В основном работы этих ученых посвящены исследованию тормозных систем, мощность которых ограничена силой сцепления колеса с рельсом.

Анализ существующих тормозных систем показал, что для обеспечения безопасного движения поездов промышленного железнодорожного транспорта на спусках крутизной до 60‰, а в перспективе и выше, необходимо изыскать дополнительные тормозные средства, не зависящие от сцепления колес с рельсами и позволяющие в сочетании с существующими тормозами реализовывать значительно большую тормозную силу, не опасаясь юза.

Существует два пути обеспечения возможной эксплуатации подвижного состава на уклонах 60‰: переоборудование всего подвижного состава на более быстродействующие тормоза;

оборудование только локомотивов (тяговых агрегатов) несколькими тормозными системами, позволяющими их совместную работу с существующими тормозами прицепных вагонов.

Автором был выбран второй вариант: увеличение тормозобеспеченности тяговых агрегатов, используемых в качестве локомотивов, как наиболее рациональный и рентабельный, не вызывающий изменения конструкции существующих тормозных систем подвижного состава промышленного транспорта.

В работах Серова В.И., Панасенкова М.А., Тюрин В.П. нашли отражение исследования электромагнитных характеристик рельсовых тормозов трамвайного типа.

Проф. Ренгевичем А.А. впервые было обосновано применение электромагнитных рельсовых тормозов на подземном транспорте в условиях шахт.

Проведенный обзор технической литературы и патентного материала показал, что на период создания мощных локомотивов промышленного транспорта — тяговых агрегатов — не было работ, посвященных теоретическим и экспериментальным исследованиям, и на их основе разработке и созданию конструкции электромагнитных рельсовых тормозов для грузового подвижного состава и маневровых локомотивов, эксплуатируемых в условиях карьеров на спусках крутизной до 60% и выше.

Прямое использование накопленного к тому времени небольшого отечественного опыта, полученного в результате испытаний первых образцов электромагнитных рельсовых тормозов трамвайного и шахтного типов, в силу специфических условий эксплуатации карьерного транспорта было невозможно.

Начиная с 1960 г. автором в связи с отсутствием отечественного транспорта, оборудованного ЭМРТ, были начаты исследования электромагнитных рельсовых тормозов на специально спроектированных стендах методом физического моделирования с учетом условий работы железнодорожного транспорта в широком диапазоне скоростей движения.

В дальнейшем разработке и созданию различных вариантов конструкции башмаков рельсового тормоза для рудничного транспорта, способам его управления посвящали свои работы Ренгезич А.А., Мурзин В.А., Климов В.В., Рогов Е.И., Салов В.А., Широков Г.М., Краплин Л.М., Дорожкин В.Н.; для промышленного транспорта – Криворудченко В.Ф.

Исследованию электромагнитных рельсовых тормозов и внедрению на высокоскоростном подвижном составе посвящены работы В.Г.Иноземцева, М.Д.Фокина, О.В.Бесценной, Н.С.Шляхова и автора данной работы.

Вопросы тепловой динамики трения нашли свое отражение в трудах Иноземцева В.Г., Чичинадзе А.В., Киселева И.Г., Брауна Э.Д., Быкова Б.К., Гинзбурга А.Г., Малоземова В.Н.

Из зарубежной литературы в этой области наиболее известны работы Конбека Е., Моллера Е., Ханнинга Х., Баермана М., Фетхенгауера Р.

На основании изложенного сформулирована цель и поставлены задачи в диссертационной работе, посвященной разработке обобщенных теоретических и экспериментальных исследований, направленных на увеличение эффективности железнодорожного подвижного состава промышленного транспорта за счет повышения его тормозообеспеченности и возможности безопасного движения на спусках крутизной 60‰ и выше, а также разработке практических рекомендаций по усовершенствованию тормозных систем на перспективу.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО РЕЛЬСОВОГО ТОРМОЗА. АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЕТА МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ. Основной задачей этой главы было теоретическое обоснование выбора электромагнитных рельсовых тормозов и поиск путей к определению рациональной конструкции магнитной системы тормоза в зависимости от условий эксплуатации.

Величина тормозных сил увязана с весом поезда, установленным в соответствии с тяговой характеристикой агрегата в зависимости от руководящего уклона. Эффективность тормозных средств оценивалась по длине тормозного пути ($S = 300$ м) при начальной скорости движения $V_0 = 30$ км/ч

На рис. I показаны рассчитанные на ЭВМ "Минск-22" зависимости тормозного коэффициента $\chi_{тп}$ от времени срабатывания (подготовки) тормозов t_0 и времени наполнения тормозных цилиндров $t_{нап}$.

Проведенный в работе анализ полученных зависимостей показывает, что на величины потребных тормозных сил подвижного состава железнодорожного транспорта на уклонах свыше 40‰ наиболее существенное влияние оказывает быстроедействие тормоза. В меньшей степени на указанные факторы влияет последующее время нарастания тормозных сил от нуля до максимума. Поэтому на железнодорожном подвижном составе промышленного транспорта целесообразно применение таких быстродействующих тормозов, как электромагнитные рельсовые тормоза.

Следующим этапом исследований был анализ существующих методов расчета магнитной системы ЭМРТ с целью выбора рациональных параметров.

Полученные результаты эксперимента по определению силы притяжения ЭМРТ к рельсу существенно отличались от результатов расчета конкретной конструкции ЭМРТ.

На основании анализа было установлено, что в расчете заложены недостаточно обоснованные данные по учету влияния рельса на величину необходимой магнитодвижущей силы (МДС) намагничивающей катушки для проталкивания магнитного потока в рельсе.

В связи с этим были произведены расчеты магнитного поля в головке рельса, как в элементе общей магнитной системы ЭМРТ. При этом были использованы графоаналитический метод расчета магнитных цепей и метод сеток.

5602a

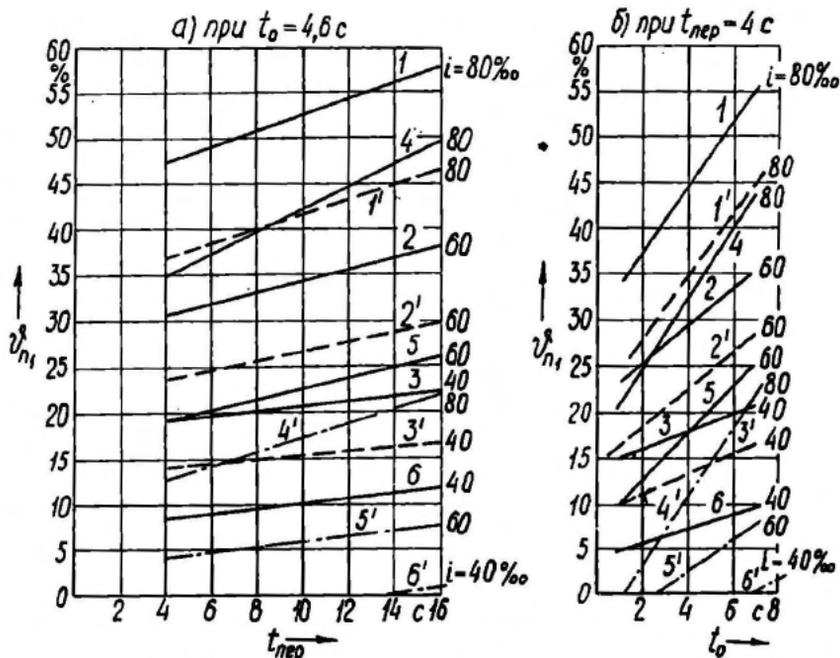


Рис. 1. Зависимость тормозного коэффициента β_{n1} от $t_{пер}$ и t_0 при $V = 30$ км/ч и $S = 300$ м:
 1, 2, 3 - поезд груженный, без ЭМРТ для уклонов 80, 60, 40‰;
 1', 2', 3' - то же с ЭМРТ; 4, 5, 6 - поезд порожний, без ЭМРТ для уклонов 80, 60, 40‰;
 4', 5', 6' - то же с ЭМРТ.

Анализ проведенных расчетов показал, что графоаналитический метод дает приближенные результаты, так как при расчете вводится большое число допущений и ограничений, снижающих точность результатов на 20–25%.

В результате выполненного расчета методом сеток определена длина средней силовой линии в головке рельса, равная 60,6 мм, и построена зависимость доли ампервитков намагничивающей катушки, необходимой для проталкивания магнитного потока в рельсе.

Расчетом магнитной системы башмака типа ЭМРТ-6Д, устанавливаемого на серийно выпускаемых тяговых агрегатах, определено, что

сила притяжения его к рельсу, равная 70 кН, может быть получена при МДС катушки $IW = 467 \text{ IA}$.

Для практических инженерных расчетов рекомендована зависимость силы притяжения башмака ЭМРТ к рельсу от намагничивающей силы катушки, которая обеспечивает точность результатов в пределах 5-8% по сравнению с экспериментальными данными.

Полученные результаты показывают, что применение метода сеток дает в рассматриваемом случае достаточно точные данные для расчета магнитной системы ЭМРТ-рельс.

АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД РАСЧЕТА ТОРМОЗНОГО ПУТИ ПРИ СОВМЕСТНОМ ДЕЙСТВИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО И ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ИЛИ ЭЛЕКТРОПНЕВМАТИЧЕСКОГО ТОРМОЗОВ. Существующие методы тормозных расчетов, принятые в МПС, совершенны и достаточно точны при расчетах тормозных путей подвижного состава магистральных железных дорог, имеющих в основном уклоны до 25‰.

Вместе с тем, как показали экспериментальные исследования, применение этих методов для железнодорожного подвижного состава, эксплуатируемого в условиях карьеров открытых горных разработок, приводит к большим погрешностям, достигающим 50%. Это объясняется следующим: руководящие уклоны путей находятся в диапазоне 30-60‰ и имеют тенденцию к увеличению; тормозные колодки локомотива и прицепных вагонов имеют различные фрикционные характеристики; длина карьерного поезда не превышает 300 м в связи с чем долевое участие тормозных средств локомотива в создании тормозной силы поезда существенно выше, чем в магистральных поездах; современные промышленные локомотивы-тяговые агрегаты оборудованы двумя различными по быстродействию и фрикционным характеристикам типам тормозов-пневматическими и электромагнитными рельсовыми, которые могут применяться совместно. Кроме того, как показали проведенные

исследования, существенное влияние на точность расчетов оказывает учет времени срабатывания тормозной системы (время от момента поворота рукоятки крана машиниста до появления усилия от колодки на колесо или от башмака ЭМРТ на рельс).

Для учета указанных факторов автором с использованием реальных характеристик тормозных систем, полученных экспериментально, разработан уточненный метод тормозных расчетов применительно к условиям работы промышленного железнодорожного транспорта на крутых уклонах для случаев совместного применения различных по быстродействию и фрикционным свойствам тормозов.

С этой целью в дифференциальном уравнении движения удельная тормозная сила поезда в общей случае представлена как сумма удельных тормозных сил пневмотормоза соответственно локомотива и прицепных вагонов и электромагнитного рельсового тормоза. Доля участия локомотива по тормозам на промышленном транспорте при оборудовании его ЭМРТ на уклонах 40 ‰ и выше соизмерима с тормозной силой поезда. Поэтому точнее тормозные расчеты для поездов промышленного транспорта проводить по фактической удельной тормозной силе, где отдельно учитываются локомотив и прицепная часть поезда, а не по тормозным коэффициентам.

На основании выполненных эксплуатационных испытаний с поездами промышленного транспорта с изменением в широком диапазоне следующих параметров: массы поезда, скорости начала торможения, быстродействия тормозов, сочетания разнотипных колодок на локомотиве и прицепных вагонах с применением и без применения ЭМРТ на локомотиве автором получены зависимости указанных удельных тормозных сил:

$$\delta_{тл} = A_{тл} (1 - e^{-\beta_{тл}(t-t_3)}) (B_{тл}' - e^{-\beta_{тл}(t-t_3)})^{m_{тл}'} (B_{тл}'' + v)^{m_{тл}''} \quad (1)$$

$$\delta_{тв} = (1 - e^{-\beta_{тв}(t-t_3)}) (B_{тв}'' + v)^{m_{тв}''} A_{тв} (B_{тв}' - e^{-\beta_{тв}(t-t_3)})^{m_{тв}'} \quad (2)$$

$$(t \geq t_3)$$

Для случая, когда крайние и средние оси имеют разные нажатия

$$\delta_{TB} = (1 - e^{-\beta_B(t-t_3)}) (B_V + v)^{m_V} \sum_{i=1}^2 A_{B_i} (B'_{B_i} - e^{-\beta_B(t-t_3)})^{m'_B} \quad (3)$$

$$(t \geq t_3),$$

$$\delta_{T3} = A e^{-\mu v} (1 - e^{-1.78(t-t_1)}), \quad (t \geq t_1), \quad (4)$$

где A, A_L, A_B - расчетные коэффициенты;

B_L, B_V, m_K, m_V - значения констант;

β_B, β_L - коэффициенты, зависящие от типа воздухораспределителя, тормозного режима и порядкового номера в поезде, описываемые с достаточной степенью точности для любого вагона поезда промышленного транспорта

$$\beta_i = \beta_1 - \Delta\beta(i-1),$$

где β_1 - коэффициент для первого вагона;

$\Delta\beta$ - приращение коэффициента;

i - порядковый номер вагона;

t_1, t_3, t_x - соответственно моменты касания ЭМТ с рельсом, тормозных колодок с колесом у первого вагона или локомотива и остановки поезда;

μ - экспериментальный коэффициент, равный 0,015.

В результате получим систему дифференциальных уравнений, описывающих процесс торможения поезда, оборудованного тормозами различных типов.

Для короткого грузового поезда, где локомотив (тяговый агрегат) оборудован ЭМТ и пневматическими тормозами с чугунными колодками, а прицепные вагоны - композиционными колодками,

$$\begin{aligned} \frac{dV}{dt} + \zeta_L \left\{ A e^{-\mu V} (1 - e^{-1,78(t-t_1)}) + A_L (1 - e^{\beta_L(t-t_2)}) (B'_L - e^{\beta_L(t-t_2)})^{m'_K} (B'_V + V)^{m'_V} + \right. \\ \left. + a_L + b_L V + c_L V^2 \pm \frac{P}{\rho + Q} i \right\} + \zeta_B \left\{ (1 - e^{\beta_B(t-t_3)}) (B''_B + V)^{m''_V} [A_{B_1} (B'_{B_1} - \right. \\ \left. - e^{\beta_B(t-t_3)})^{m''_K} + A_{B_2} (B'_{B_2} - e^{\beta_B(t-t_3)})^{m''_K}] + a_B + b_B V + c_B V^2 \pm \frac{Q}{\rho + Q} i \right\} = 0; \end{aligned} \quad (5)$$

$$\frac{dS}{dt} = V.$$

Для того же короткого состава, но оборудованного ЭМРТ и электромагнитским тормозом

$$\begin{aligned} \frac{dV}{dt} + \zeta_L \left\{ A e^{-\mu V} + A_L (B'_L)^{m'_K} (B'_V + V)^{m'_V} + a_L + b_L V + c_L V^2 \pm \frac{P}{\rho + Q} i \right\} + \\ + \zeta_B \left\{ (B''_B + V)^{m''_V} [A_{B_1} (B'_{B_1})^{m''_K} + A_{B_2} (B'_{B_2})^{m''_K}] + a_B + b_B V + c_B V^2 \pm \frac{Q}{\rho + Q} i \right\} = 0; \end{aligned} \quad (6)$$

$$\frac{dS}{dt} = V,$$

где ζ_L и ζ_B - коэффициенты замедления соответственно локомотива и вагонов;

a_L, b_L, c_L, a_B, b_B и c_B - коэффициенты, входящие в формулу основного удельного сопротивления движению для локомотива и вагонов.

К системам дифференциальных уравнений (5), (6) следует присоединить начальные условия, имеющие наглядный физический смысл. Для этого рассмотрим временной интервал $0 \leq t \leq t_x$ от начала поворота ручки крана машиниста в тормозное положение ($t = 0$) до остановки поезда ($t = t_x$).

На участке $0 \leq t < t_1$ тормозные силы не действуют. На участке $t_1 \leq t < t_3$ действуют лишь ЭМРТ. При $t_3 < t \leq t_x$ торможение осуществляется всеми видами тормозов.

На первом временном интервале $[0, t_1]$ приравниваются коэффициенты $A = A_L = A_{B_1} = A_{B_2} = 0$; ; на втором временном интер-

вале $[t_1, t_3]$ полагаем, что $A_n = A_{s1} = A_{s2} = 0$; на третьем временном интервале в дифференциальных уравнениях сохраняются все коэффициенты.

Таким образом, в рассматриваемом в диссертации методе учитывается время срабатывания тормозов, совместное применение пневматических и электромагнитных тормозов, разнотипность тормозных колодок на локомотиве и прицепных вагонах поезда. В этом состоит основное отличие предложенного метода для промышленного транспорта, эксплуатируемого на крутых уклонах, от существующих методов тормозных расчетов для магистрального железнодорожного транспорта.

В работе предложен упрощенный метод тормозных расчетов для карьерных поездов с учетом особенностей их движения при торможении на крутых уклонах. Сущность метода состоит в точном определении функции скорости во времени путем интегрирования уравнения движения на участке от V_n до V_k подготовительного периода. Тормозную силу на указанном отрезке времени подготовительного периода необходимо принимать функцией только одной переменной — времени, при некоторой постоянной скорости, не равной V_k а несколько большей, определяемой по формуле, полученной автором на основании проведенных многочисленных решений.

В работе выведены формулы для определения времени подготовки при совместном действии различных тормозных систем.

Используя развитый в диссертации аналитический метод тормозных расчетов, учитывавший влияние спуска до 60% включительно, дополнительную тормозную силу от ЭМТ на тяговом агрегате, разнотипность тормозных колодок на локомотиве и прицепных вагонах, быстрдействие тормозных систем, разработаны расчетные номограммы тормозных путей для подвижного состава промышленного железнодорожного транспорта и рекомендованы нормы тормозных нажатий.

Все номограммы рассчитаны для экстренного вида торможения при весовой норме поезда, установленной для данного уклона из ограничения по силе тяги локомотива.

Приведены примеры расчета, на основании которых составлены таблицы перевода тормозных коэффициентов пневмотормоза и ЭМРТ на локомотиве, композиционных тормозных колодок к эквивалентным тормозным коэффициентам чугунных тормозных колодок.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТОРМОЗНЫХ СИСТЕМ. Создание нового вида тормоза – электромагнитного рельсового для подвижного состава промышленного транспорта потребовало проведения комплекса экспериментальных исследований как в лабораторных условиях на физических моделях, так и в эксплуатации на натуральных образцах по разработанным автором методикам. В данной главе будут рассмотрены наиболее значительные из проведенных исследований.

Натурные испытания по определению тормозной эффективности, надежности работы ЭМРТ, установленных на тяговых агрегатах, опытной партии маневровых тепловозов типа ТГМ6А и ТЭМ12, вагонах скоростных поездов проводились соответственно на спусках крутизной 20–60 ‰ с одиночными локомотивами и груженными поездами массой 1240 – 2500 т, на уклонах 25–40 ‰ с массой поезда 452 т и на уклонах 0–4 ‰ при скоростях движения до 200 км/ч. В работе приведены результаты сравнительных тормозных испытаний усовершенствованной системы тормоза тягового агрегата ОПЭИАМ-01 как одиночного, так и в составе порожнего и груженого поездов, оборудованных воздухораспределителями усл. № 498 и модернизированным усл. № 270-005-1 на площадке и 50 ‰ уклоне. Проведенные испытания позволили установить максимально допустимые скорости движения для различного подвижного состава, оборудованного пневматическими и электромагнитными тормозами на площадке и крутых уклонах, определить эффектив-

ность различных тормозных систем и получить данные, необходимые для выполнения тормозных расчетов.

Результаты проведенных натурных испытаний и аналитических расчетов по разработанным в диссертации методам показали, что оборудование только тяговых агрегатов ЭМРТ, дополнительно к пневматическим колодочным тормозам, обеспечивает безопасную работу подвижного состава на спусках крутизной до 80%, в карьерах с грузовым направлением вверх и до 70% в карьерах с грузовым направлением вниз при длине тормозных путей, не превышающих нормы - 300 м и скорости движения $V_n = 30$ км/ч.

Максимальные приращения скорости движения ΔV на спуске 60% при действии пневматических тормозов и $V_n = 35$ км/ч у порожнего и груженого поездов составили 7,5 и 13 км/ч, при совместном действии с ЭМРТ соответственно 5,9 и 6,5 км/ч. ЭМРТ тягового агрегата можно использовать в качестве стояночного тормоза на площадке для всех видов поездов. На спусках до 40% включительно он обеспечивает удержание порожнего поезда с массой прицепных вагонов до 600 т.

В эксплуатации проверялась возможность питания ЭМРТ в аварийном режиме только от аккумуляторной батареи. Испытания показали, что в случае выхода из строя генератора управления питание ЭМРТ от аккумуляторной батареи вполне обеспечит необходимую тормозную эффективность ЭМРТ для безопасного движения поездов на крутых уклонах 40-60%, так как при $V_n = 30$ км/ч процесс торможения длится 30-40 с.

Эффективность работы ЭМРТ зависит от величины реализуемой тормозной силы, которая является функцией конструкционных и эксплуатационных факторов.

На основании проведенных в работе исследований каркасы катушек ЭМРТ изготавливают из обычной конструкционной стали Ст.3 вза-

мен дорогостоящей диамагнитной ХІВНІОТ.

В период эксплуатационных испытаний было установлено, что у башмаков ЭМРТ с магнитопроводом из Ст.2 и Ст.3 наблюдалось интенсивное налипание продуктов износа на внутренней грани трущихся полюсных накладок, навары и цвета побежалости, что приводило к снижению тормозной эффективности ЭМРТ.

Из множества исследованных материалов для магнитопровода ЭМРТ был выбран и внедрен на подвижном составе промышленного железнодорожного транспорта чугуна с шаровидным графитом. Оптимальный состав компонентов чугуна, наиболее полно удовлетворяющий требованиям эксплуатации, подтвержден авторскими свидетельствами № 863699 и № 540936.

Полученные электромагнитные характеристики чугуна с шаровидным графитом используются при расчете магнитной цепи ЭМРТ.

При использовании методов математической статистики путем аппроксимации экспериментальных данных показательной функцией, получены уравнения, описывающие зависимость коэффициента трения от скорости движения для разных материалов магнитопровода. Выведена формула основного удельного сопротивления движению для тягового агрегата, которые используются при расчетах тормозных путей подвижного состава, оборудованного ЭМРТ.

Анализ литературы и патентного материала показал на существующее многообразие связей между башмаками и полное отсутствие исследований по выявлению влияния конструкции связи на тормозную эффективность ЭМРТ и рекомендаций для различных условий работы тормоза.

Для проверки соответствия схем связей между башмаками условиям содержания верхнего строения пути открытых горных разработок и промышленных предприятий были проведены эксплуатационные испытания тяговых агрегатов с башмаками всех существующих вариантов свя-

зи, включая разработанную автором конструкцию поперечной телескопической тяги.

Анализ полученных данных показывает, что бабмаки ЭМРТ с телескопической связью имеют тормозную эффективность в среднем на 15-30% выше по сравнению со всеми существующими видами связи за счет стабилизации положения бабмаков относительно оси рельса независимо от ширины рельсовой колеи, исключает возможность их подворачивания в тормозном режиме, повышает надежность работы ЭМРТ в условиях эксплуатации промышленного железнодорожного транспорта.

Разработанная конструкция телескопической связи принята к внедрению Днепропетровским электровагостроительным заводом и устанавливается на все типы серийно выпускаемых тяговых агрегатов.

Анализ априорной информации и предварительно проведенные опыты показали зависимость тормозной силы ЭМРТ от множества конструктивных и эксплуатационных факторов и отсутствие данных о функциональной связи между ними.

В диссертации один из разделов посвящен исследованию следующих вопросов:

- разработке методики измерения тормозной силы ЭМРТ;
- нахождению математических моделей, описывающих зависимость тормозной силы ЭМРТ от конструктивных и эксплуатационных факторов;
- выбору конструкции ЭМРТ, обеспечивающей наибольшую тормозную эффективность и работоспособность тормоза в условиях эксплуатации промышленного железнодорожного транспорта.

Разработан метод прямой записи тормозной силы ЭМРТ, позволяющий оценивать ее величину по одному образцу без изготовления комплекта для оборудования подвижного состава.

Для решения поставленных вопросов был использован аппарат математической статистики, а задачу отыскания связи между тормозной силой ЭМРТ и конструктивными и эксплуатационными факторами решали

как многофакторную, используя метод математического планирования эксперимента.

Методом регрессионного анализа была установлена значимость коэффициентов уравнений и адекватность математических моделей процессу торможения ЭМРТ.

Телескопическая связь

$$B_{ТЭ.СТ} = 24930 + 3,8 R - 879 V + 11,2 V^2 ; \quad (7)$$

$$B_{ТЭ.Ч} = 2860 + 3,95 R - 1091 V + 14,36 V^2 \quad (8)$$

Жесткая связь

$$B_{ТЭ.СТ} = 15250 + 3,45 R - 388,8 V + 4,18 V^2 ; \quad (9)$$

$$B_{ТЭ.Ч} = 18320 + 3,2 R - 596,7 V + 7,16 V^2 , \quad (10)$$

где $B_{ТЭ.СТ}$, $B_{ТЭ.Ч}$ - тормозная сила ЭМРТ с магнитопроводом соответственно из материала Ст.2 и чугуна с шаропидным графитом;

R - радиус кривой;

V - скорость движения.

Полученные математические модели, описывающие зависимость тормозной силы ЭМРТ от конструктивных и эксплуатационных факторов, были использованы при выборе оптимальных параметров тормоза для условий его эксплуатации на подвижном составе промышленного транспорта. Формулы (7) - (10) справедливы для $120 < R < 800$ и $10 < V < 40$.

Крутые 40-60 ‰ спуски, короткие участки пути, большой объем работ под погрузкой, выгрузкой и перевеской, где требуется мгновенная остановка и четкая фиксация вагонов, вызывает необходимость использования ЭМРТ, установленного на подвижном составе промышленного железнодорожного транспорта при регулировочных торможениях.

Одним из ограничивающих факторов применения ЭМРТ при всех видах маневровой работы является износ полюсов.

Испытания по определению износостойкости материалов, используемых для магнитопровода ЭМРТ, проводились как на машине трения, так и в натуральных условиях. В эксплуатации фиксировались следующие параметры: пробег локомотива, количество срабатываний тормоза, тормозной путь, время работы. ЭМРТ был заблокирован с работой пневматического тормоза.

Удельный износ рельса на единицу приведенной длины тормозного пути для испытанных материалов Ст.2, Ст.3 и чугуна с шаровидным графитом двух модификаций незначительно отличается и в зоне испытанных скоростей движения промышленного железнодорожного транспорта составляет 0,04 мм/км.

Величина износа у различных башмаков неравномерна как по ширине, так и по длине плоскости касания их с рельсом и зависит от условий работы. Результаты лабораторных испытаний близки к результатам натуральных по определению величин износа башмаков ЭМРТ и составляют для чугуна с шаровидным графитом двух модификаций -0,415 -0,346 мм/км, для Ст.2 - 0,237 мм/км.

Исследования температурного режима ЭМРТ проводились в эксплуатационных условиях. Измерение температуры поверхности рельса производилось бесконтактным методом по инфракрасному излучению поверхностей пирометром частичного излучения, изготовленным в РИИЖТе.

Температура поверхности рельса от действия ЭМРТ в период испытаний промышленного и скоростного подвижного состава при скоростях движения до 60 км/ч и до 180 км/ч соответственно находилась в пределах 220-350°C и 170-450°C.

Возрастание до указанного интервала температур происходит в течение 5-15 с после начала действия ЭМРТ. В момент остановки поверхностная температура резко падает ниже 100°C.

Максимальные температуры рельса при действии башмака ЭМРТ с магнитопроводом из чугуна с шаровидным графитом на 50-60°C ниже, чем при действии стального башмака.

В условиях работы промышленного железнодорожного транспорта определялись поверхностные и объемные температуры башмака. Максимально полученная температура поверхности башмака равна 530°C, объемная температура, измеренная по периметру катушки, не превышает 100°C.

Проведенные испытания показали, что температурный режим при работе ЭМРТ не является ограничением для их применения при всех видах торможения.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОПЕРЕЧНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ЭМРТ, ПРОХОДИМОСТЬ СТРЕЛОЧНЫХ ПЕРЕВОДОВ И КРИВЫХ МАЛОГО РАДИУСА. С целью проверки возможности безопасного прохождения башмака на различных участках пути: стрелочных переводов, крестовин и особенно участков с возвышающимся контррельсом, а также для определения тормозной эффективности ЭМРТ на указанных выше участках пути были проведены теоретические и экспериментальные исследования поперечных колебаний башмака относительно головки рельса в рабочем и нерабочем положениях при разных скоростях движения.

Величина тормозной силы ЭМРТ зависит от площади контакта башмака с поверхностью головки рельса. Максимальное значение площади контакта с поверхностью головки рельса получается только при совпадении вертикальных осей этих элементов.

Профиль и состояние пути, стрелочных переводов, конструкция башмака ЭМРТ и схема его привязки к тележке, а также ряд других факторов оказывают существенное влияние на положение башмака на рельсе в период торможения.

Башмак ЭМРТ с помощью вертикальных подвесок шарнирно крепится к раме тележки, поэтому он имеет поперечные перемещения относительно

рельса. При движении рама тележки совершает колебания подпрыгивания, галопирования, бокового отхода и виляния.

Таким образом, конструкция ЭМРТ представляет из себя маятник, точка подвеса которого совершает колебательные движения в вертикальном и горизонтальном направлениях.

Как известно из теории колебаний, если точка подвеса маятника совершает колебания в вертикальном направлении, то он подвергается параметрическим колебаниям, а при определенных условиях и параметрическим резонансным колебаниям.

В связи с вышеуказанным изучение параметрических колебаний башмака ЭМРТ и определение максимально возможных его поперечных отклонений от вертикальной оси представляет важную задачу в оценке эффективности ЭМРТ и безопасности движения.

Если точка подвеса башмака ЭМРТ движется в поперечном и вертикальном направлениях, соответственно, по законам $y_1 = y_1(t)$ и $z_1 = z_1(t)$, то дифференциальное уравнение движения башмака относительно рамы тележки имеет вид:

$$\ddot{\varphi} + \left(\frac{g}{l} + \frac{K}{m} - \frac{1}{l} \ddot{z}_1(t) \right) \varphi + \frac{F_0}{ml} \operatorname{sign} \varphi = -\frac{1}{l} \ddot{y}_1(t), \quad (11)$$

- где φ - угол отклонения башмака от вертикальной оси;
 l - расстояние от центра тяжести башмака до точки подвеса его;
 g - ускорение силы тяжести;
 K - жесткость пружин возвращающего аппарата башмака ЭМРТ;
 m - масса башмака;
 F_0 - сила предварительного сжатия пружин при их установке в возвращающий аппарат.

Из уравнения (11) видно, что вертикальные колебания точки подвеса башмака $z_1(t)$ возбуждают параметрические колебания башмака, а поперечные колебания $y_1(t)$ точки подвеса являются внешними

возмущениями.

Исследование уравнения (II) на параметрический резонанс известными методами теории нелинейных колебаний показывает, что параметрический резонанс башмака ЭМРТ может наступить при скорости движения

$v > 129$ км/ч с параметрами $\ell = 0,65$ м, $L = 25$ м $m = 215$ кг, $K = 1250$ н/м.

Таким образом, в зоне эксплуатационных скоростей движения подвижного состава промышленного железнодорожного транспорта параметрический резонанс поперечных колебаний башмака, установленного на тяговом агрегате, не может наступить.

Решение уравнения (II) с использованием ЭВМ при различных значениях скоростей движения, равных 5, 10, 15, 20 м/с, и различных значениях жесткости пружин возвращающего аппарата от 1000 до 1500 Н/м с интервалом через 100 Н/м позволило получить амплитуды поперечных колебаний башмака ЭМРТ, которые сравнивались с экспериментальными данными, полученными с помощью кино съемки. Результаты экспериментальных и теоретических исследований поперечных колебаний башмака ЭМРТ имеют вполне удовлетворительную сходимость.

В зоне эксплуатационных скоростей движения амплитуды поперечных колебаний башмака ЭМРТ не превышают 8-10 мм. Таким образом, в момент опускания башмака на рельс при торможении исключается возможность его удара в контррельс даже без учета электромагнитных сил притяжения между башмаком и рельсом.

Исследование поперечных перемещений башмака ЭМРТ в тормозном режиме производилось в период эксплуатационных испытаний промышленного и скоростного подвижного состава в диапазоне скоростей движения от 5 до 55 км/ч и от 100 до 180 км/ч. Поперечные перемещения башмака относительно головки рельса определялись с помощью кино съемки

Обработка материалов киносъемки известными методами математической статистики показывает, что поперечные перемещения башмака относительно головки рельса в режиме торможения незначительны и не угрожают безопасности движения.

Разработанная и принятая к внедрению на подвижном составе промышленного железнодорожного транспорта конструкция башмака ЭМРТ, система его подвешивания и связи обеспечивает безопасное прохождение участков пути с возвышающимися контррельсами, стрелочных переводов даже при максимально допустимых износах, а также кривых с малыми радиусами.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОДОЛЬНЫХ СИЛ В КАРЬЕРНОМ ПОЕЗДЕ ПРИ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЕ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ТОРМОЗОВ.

В данной главе рассматривается возможность эксплуатации карьерных поездов в условиях промышленного железнодорожного транспорта на больших уклонах с учетом режимов работы различных по времени срабатывания тормозных систем, установленных на таких поездах.

Общий подход к решению задачи динамики карьерного поезда при торможении остается таким же, как и при изучении динамики торможения магистральных поездов, изложенный в работах В.А.Лазаряна, Е.П.Блохина, В.Ф.Ушкалова, П.Т.Гребенюка, Л.А.Манашкина, В.Д.Дановича. Однако при этом учтены значительные расхождения времени срабатывания различных тормозных средств, установленных на поезде, а также резко меняющийся профиль пути в карьерах.

Задача динамики торможения карьерного поезда стносится к задачам о неустановившихся процессах нелинейных колебаний многомассовой механической системы твердых тел, связанных между собой упруго-вязкими связями.

В работе рассмотрена обобщенная модель карьерного поезда, состоящего из электровоза, тепловоза, одного моторного думпкара и одиннадцати саморазгружающихся вагонов. Накладывая различные орга-

числения на режимы движения обобщенной модели, получаем частные случаи математической модели карьерного поезда и его законов движения.

Участок пути, имеющий переломы профиля, по которому движется поезд, задается как функция $Z = Z(X)$ в декартовой системе координат.

Поскольку величины продольных сил в междувAGONных соединениях зависят как от относительных перемещений экипажей $X_K - X_{K+1} = S_K$, так и от относительных скоростей $\dot{X}_K - \dot{X}_{K+1} = \dot{S}_K$ последовательно соединенных экипажей, то более удобным будет представление дифференциальных уравнений движения каждого экипажа (подвижной единицы поезда) в нормальной форме Коши

$$\begin{cases} \dot{X}_K = U_K; \\ m_K \ddot{X}_K = F_K(U_K, t) - W_K(U_K) - G_K i_K(X_K) - B_K(U_K, t - t_K) + \\ \quad + T_{K-1}(S_{K-1}, \dot{S}_{K-1}) - T_K(S_K, \dot{S}_K) \end{cases} \quad (12)$$

с начальными условиями

$$\begin{aligned} X_K(0) = X_{K0}, \quad \dot{X}_K(0) = U_{K0}, \\ (K = 1, 2, 3, \dots, n; n = 14), \end{aligned} \quad (13)$$

- где F_K - сила тяги K -го экипажа;
 W_K - сила сопротивления движению K -го экипажа;
 $G_K = m_K g$ - вес K -го экипажа;
 i_K - уклон профиля пути для K -го экипажа;
 X_K - координата центра тяжести K -го экипажа;
 B_K - тормозная сила, действующая на K -й экипаж;
 T_{K-1}, T_K - продольные силы в междувAGONных соединениях K -го экипажа;
 t_K - промежуток времени до начала действия тормозной силы в K -ом экипаже.

Уравнение, связывающее силу T_K как функцию от деформации $S_K = X_K - X_{K+1}$, и скорости деформации $\dot{S}_K = \dot{X}_K - \dot{X}_{K+1}$, поглощающих аппаратов, называют уравнением состояния междувагонных связей. Это уравнение может быть представлено в следующем виде

$$T_K = T_{KY}(S_K) + T_{KB}(\dot{S}_K), \quad (14)$$

где T_{KY} T_{KB} - соответственно упругая и вязкая составляющие силы T_K

В расчетах принята кусочно-линейная характеристика пружинно-фрикционных поглощающих аппаратов.

Сила тяги электровоза управления, тепловоза и моторного р-мш-кара, как и тяговые характеристики всех локомотивов с электрической передачей мощности, имеют гиперболическую характеристику и на каждой позиции контроллера машиниста определенную функциональную зависимость от скорости движения. Эти характеристики легко могут быть представлены аналитически соответствующими функциями от скорости.

Удельные силы сопротивления движению для карьерных поездов рассчитаны согласно правилам тяговых расчетов промышленного транспорта, причем учтены удельные силы сопротивления для груженых и порожних думпкеров, а также при движении вагонами вперед, дополнены удельные силы сопротивления при движении на кривых участках пути.

Тормозные силы B_K , действующие на экипаж с номером K определены как сумма тормозных сил колодочных и электромагнитных тормозов.

Процесс наполнения тормозных цилиндров на K -ом экипаже представлен как функция времени с учетом времени срабатывания пневматических тормозов каждого экипажа.

Расчет тормозных сил ЭМРТ произведен по формулам, полученным автором на основе теоретических и экспериментальных исследований.

Обработка результатов натурных испытаний и полученных на ЭЦВМ позволила построить графики распределения продольных усилий в междугонных связях карьерного поезда при торможении на участках пути с различным профилем (рис. 2).

Данные, полученные при испытаниях опытного поезда, согласуются с теоретическими расчетами, проведенными с помощью ЭЦВМ.

Во время торможения карьерного поезда измерялись перемещения пружины и букс моторного думпкара для определения измерения нагрузок на колесные пары.

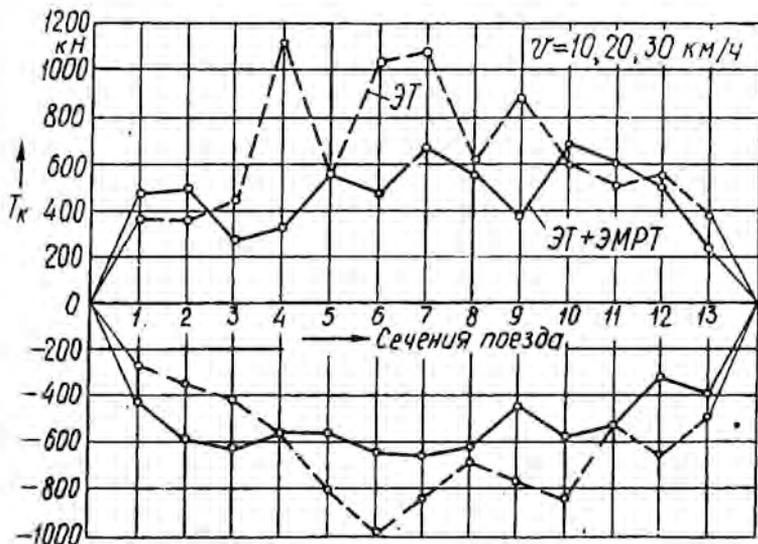


Рис. 2. График максимальных продольных усилий в карьерном поезде

Из анализа экспериментальных исследований и расчетов на ЭЦВМ динамики торможения карьерных поездов можно сделать заключение, что совместное применение ЭМРТ и пневматических тормозов в поездах, эксплуатируемых на уклонах до 60 %, не только сокращает

тормозной путь на 25-33%, но и уменьшает продольно-динамические усилия при торможении на 10-40% по сравнению с действием одних пневматических тормозов.

ПУТИ ДАЛЬНЕЙШЕГО ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОРМОЖЕНИЯ ЖЕЛЕЗНО-ДОРОЖНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА. Существующие у нас в стране тормозные системы обеспечивают безопасность движения магистрального железнодорожного транспорта при скоростях движения до 200 км/ч и промышленного транспорта на уклонах до 60‰ включительно.

Наращивание мощностей горнообогатительных комбинатов приведет к увеличению глубины карьеров и переходу на уклоны 80‰ и выше. Это потребует выбора и совершенствования тормозных средств для железнодорожного подвижного состава. Днепропетровским электровозостроительным заводом начаты работы исследовательского характера по созданию грузовых электропоездов карьерных (ЭКА) для возможности эксплуатации их на спусках до 160‰.

Проведенные автором теоретические и экспериментальные исследования позволяют определить основные типы тормозных систем и наметить пути их дальнейшего совершенствования для возможной эксплуатации железнодорожного транспорта на указанных уклонах.

В данной главе проанализированы существующие тормозные средства с позиций их использования на уклонах круче 60‰ и указаны критерии эффективности тормозных систем многосекционных локомотивов, приведены результаты стендовых испытаний макетных образцов, на основе которых разработаны схемные варианты тормозных систем повышенной эффективности, рассмотрен корректор скорости наполнения тормозных цилиндров (КСНЦ). Обосновано применение регулируемого нажатия ЭМРТ и использование его в качестве догрузателя.

Тормозные системы современных локомотивов имеют ряд схем тормозного оборудования, отличающихся по способу наполнения скатым воздухом тормозных цилиндров в зависимости от секционности испол-

нения. Схемные решения тормозных систем локомотивов и тяговых агрегатов определяются их родом движения и предназначенностью к работе. При этом играет значение увязка работы автоматического и вспомогательного тормозов, обеспеченность автоматического затормаживания секций при их возможном саморасцепе. Условия эксплуатации многосекционных локомотивов на крутых уклонах требуют наличия нескольких систем быстродействующих и надежных тормозов, действующих как независимо, так и совместно.

Эффективность тормозных систем многосекционных локомотивов, характеризуемая скоростью и одновременностью наполнения и выпуска воздуха из тормозных цилиндров, времени срабатывания, определяется схемным решением магистрали вспомогательного тормоза (МВТ).

Известны три схемных решения магистрали вспомогательного тормоза: наполняющая, наполняюще-командная и чисто командная.

На основе сравнения как теоретических, так и стендовых испытаний предлагаемый в диссертации вариант тормозной схемы командного типа обеспечивает повышенное быстродействие за счет существенного сокращения объема, наполняемого краном вспомогательного тормоза (КВТ) как при работе вспомогательного тормоза, так и при работе в режиме реле повторителя, а подключение запасного резервуара к питательной магистрали делает тормоз практически неистощимым.

В работе рассматривен вариант тормозной системы, где сообщение запасного резервуара с питательной магистралью через обратный клапан позволяет отказаться от использования воздухораспределителей на прицепных секциях тягового агрегата.

Предложенная пневмосхема тормозной системы прицепных секций тягового агрегата обеспечивает повышение готовности к действию за счет зарядки запасных резервуаров от питательной магистрали через обратный клапан, быстродействие, неистощимость и надежность

за счет исключения воздухораспределителей, снижение материалоемкости и стоимости.

Прицепная часть поезда может иметь как различную длину, так и различные типы вагонов и воздухораспределителей, для управления которыми требуются различные алгоритмы наполнения тормозных цилиндров локомотива, что может быть достигнуто с помощью разработанного корректора скорости наполнения тормозных цилиндров. КСНЦ состоит из регулируемого отверстия и дополнительного объема, которые можно рассматривать как систему дроссель-резервуар, где за счет изменения любого из параметров можно регулировать время выработки командного сигнала.

В работе приведены результаты моделирования и стендовых испытаний КСНЦ, которые позволяют выбрать конкретные конструктивные параметры устройства при его реализации на локомотиве.

Предложенный вариант КСНЦ регулирует скорость наполнения тормозных цилиндров многосекционного локомотива в широком диапазоне времени, обеспечивая согласованную работу с любыми типами воздухораспределителей.

В работе обосновано применение регулируемого нажатия ЭМРТ и обеспечения его автоматического включения для совместной работы как с пневматическим, так и с электродинамическим тормозами и возможность использования ЭМРТ в качестве догрузателя (ЭМРТ-Д) для улучшения тяговых и тормозных характеристик карьерных электропоездов.

Проведенный анализ существующих тормозных систем, сравнительные эксплуатационные и стендовые испытания различных вариантов пневмосистем поездов промышленного транспорта и многосекционных локомотивов, оборудованных ЭМРТ, позволяют сделать вывод, что предложенные пути дальнейшего повышения эффективности тормозных систем обеспечат улучшение безопасности движения при эксплуатации железно-

дорожного транспорта на уклонах более 60% за счет ускорения готовности к действию, быстродействию, неистощимости и надежности.

Одним из ограничивающих факторов применения железнодорожного транспорта в карьерах с уклонами более 40% является сравнение его стоимостных показателей с другими видами транспорта.

Рядом исследователей доказана целесообразность использования железнодорожного транспорта на уклонах 60% и выше.

Оборудование тяговых агрегатов электромагнитными рельсовыми тормозами обеспечивает безопасное движение железнодорожного промышленного транспорта на указанных уклонах.

В настоящее время отечественной промышленностью выпущено более 600 тяговых агрегатов, оборудованных ЭМРТ, которые эксплуатируются практически на всех карьерах нашей страны.

Проведенные расчеты показали, что величина экономического эффекта от внедрения ЭМРТ на тяговых агрегатах растет с увеличением глубины карьера.

Годовой экономический эффект на один тяговый агрегат при оборудовании его ЭМРТ и переводе движения с 40 на 60% уклоны в условиях Лебединского ГОКа составляет 23,0 тыс.руб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В итоге проведенного комплексного исследования решена важная народнохозяйственная проблема использования железнодорожного транспорта в карьерах, имеющих крутизну спуска до 60% за счет повышения тормозообеспеченности тяговых агрегатов.

1. Теоретически обосновано, экспериментально подтверждено, что эффективность тормозной системы железнодорожного транспорта в большей степени зависит от начального быстродействия срабатывания, чем от величины последующего градиента нарастания тормозной силы, что

и определило необходимость внедрения ЭМРТ.

Даны рекомендации по дифференцированному применению различных существующих тормозных систем.

2. На основании экспериментальных исследований и использования реальных характеристик существующих тормозных систем путем аналитического решения уравнения движения поезда получили дальнейшее развитие методы тормозных расчетов для подвижного состава промышленного железнодорожного транспорта с учетом его движений на спусках круче 40‰ для случаев совместного применения различных по быстродействию и фрикционным характеристикам тормозов.

Рекомендованы нормы тормозных нажатий и построены расчетные номограммы тормозных путей для спусков до 60‰ включительно.

3. Методом регрессивного анализа результатов спланированного эксперимента получены адекватные математические модели, описывающие влияние наиболее существенных конструктивных и эксплуатационных факторов на величину тормозной силы ЭМРТ, которые могут быть использованы при выборе рациональных параметров тормоза на стадии проектирования.

4. На основании экспериментальных данных получены зависимости коэффициента трения ЭМРТ для разных материалов магнитопровода в функции скорости и удельного давления, основного удельного сопротивления движению тягового агрегата. Выведены формулы для определения времени подготовки при действии различных тормозных систем, которые используются при выполнении тормозных расчетов.

5. Разработана математическая модель, описывающая колебания ЭМРТ относительно оси рельса. Наибольшие амплитуды поперечных колебаний в поднятом и опущенном состояниях в зоне эксплуатационных скоростей движения, полученные путем решения дифференциального уравнения и в эксплуатации методом скоростной киносъемки, хорошо

согласуются и не превышают 8-10 мм, что обеспечивает безопасное прохождение башмаками участков пути с возвышающимся контррельсом.

6. Проведенные натурные испытания показали, что принятые к внедрению электромагнитные рельсовые тормоза, установленные на магистральном и промышленном транспорте, обеспечивают безопасную и надежную их эксплуатацию на всех участках пути, включая для промышленного транспорта существующие на подъездных путях кривые малого радиуса, стрелочные переводы типа I/7, I/9 даже при максимальных допустимых износах башмака и элементов стрелочных переводов.

7. Предложена математическая модель, описывающая продольно-динамические усилия в карьерном поезде при торможении с учетом оборудования подвижного состава различными по скорости срабатывания тормозными системами, позволяющая определить усилия в карьерном поезде при движении на крутых спусках.

Идентификация модели с натурой проводилась по результатам испытаний карьерного транспорта.

8. Анализ продольно-динамических усилий, полученных при натурных испытаниях, подтверждает целесообразность применения ЭМРТ совместно с пневматическими тормозами как для груженых, так и для порожних поездов на всех участках пути, особенно на крутых спусках. Максимальные значения продольных усилий при всех видах торможений не превышают 1100 кН, что меньше допустимых значений в 2 раза.

9. Абсолютные значения средних разгрузок колесных пар как при действии одних пневматических тормозов, так и совместно с ЭМРТ, полученные экспериментально, не превышают 24 кН, что соответствует коэффициенту разгрузки 0,9 и не превышает обычно принимаемых в тормозных расчетах значений.

10. Анализ методов расчета и проведенные экспериментальные исследования показали, что из рассмотренных методов расчета магнит-

ной системы ЭМРТ наиболее полно отражает картину магнитного поля метод сеток, который можно применить не только для описания магнитного поля элемента магнитопровода, но и всей магнитной системы и который может быть использован для выбора рациональных параметров ЭМРТ.

Решена прикладная задача по определению длины средней силовой линии в головке рельса, позволяющая повысить точность расчета магнитной системы ЭМРТ.

11. В результате проведенных исследований на моделях и в реальных условиях эксплуатации ЭМРТ с различным материалом магнитопровода рекомендован чугун с шаровидным графитом, подтвержденный авторскими свидетельствами на изобретения. Башмаки ЭМРТ из материала чугуна с шаровидным графитом имеют меньшую склонность к налипанию продуктов износа в зоне контакта с рельсом, на поверхности рельса отсутствуют следы местного перегрева, лучшее прилегание и большую площадь контакта с рельсом, более стабильное значение тормозной силы.

Коэффициент трения у башмаков ЭМРТ с магнитопроводом из чугуна с шаровидным графитом близок к значению из материала Ст.2 во всем диапазоне испытанных скоростей движения.

12. Впервые в практике подобных исследований выполнена оценка температурного состояния рельса при торможении в условиях работы промышленного и скоростного железнодорожного транспорта в диапазоне скоростей движения соответственно 10-60 км/ч и 120-180 км/ч, которая находится в пределах 170-450°C. Максимальная температура рельса при действии ЭМРТ с магнитопроводом из чугуна с шаровидным графитом в среднем на 50-60°C ниже, чем при стальном магнитопроводе. Температурный режим в зоне контакта башмак-рельс не является ограничением для применения электромагнитных рельсовых тормозов.

13. Намечены пути дальнейшего совершенствования тормозных систем для возможности эксплуатации железнодорожного подвижного состава на спусках более 60%. Предложены конкретные технические решения, обеспечивающие повышение готовности к действию, быстродействие, неистощимость и надежность пневматических тормозных систем, регулируемое нажатие ЭМРТ и совместное применение с электродинамическим тормозом, возможность использования ЭМРТ в качестве догрузителя.

14. Проведенные исследования позволили установить, что эффективность от внедрения электромагнитных рельсовых тормозов состоит не только в решении проблем эксплуатации промышленного железнодорожного транспорта на спусках более 40%, но и в ускорении маневровой работы.

15. Основные положения теоретических и экспериментальных исследований, изложенные в работе, включены в учебники, монографии, справочники, нормативные документы и использованы рядом локомотивостроительных заводов, научно-исследовательских и проектных организаций, промышленных предприятий, связанных с проектированием, испытанием, ремонтом и обслуживанием ЭМРТ.

16. Годовой экономический эффект от внедрения результатов исследований составил 23,0 тыс.руб. на один тяговый агрегат.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах.

1. Балон Л.В. Коэффициент трения электромагнитного рельсового тормоза. -В кн.: Вопросы конструкции и динамики локомотивов. Труды Ростовского-на-Дону института инженеров железнодорожного транспорта. Ростов-на-Дону, 1968, вып.77, с.136-143.

2. Балон Л.В. Исследование влияния вставки на величину коэффициента трения электромагнитного рельсового тормоза. -В кн.: Вопросы конструкции и динамики локомотивов. Труды Ростовского-на-Дону института инженеров железнодорожного транспорта. -Ростов-на-Дону, 1968, вып. 77, с.127-136.

3. Балон Л.В. Повышение тормозной эффективности при действии электромагнитных рельсовых тормозов. - Материалы XXXVI научно-технической конференции РИИЗТа. - Ростов-на-Дону, 1966, с.58-61.

4. Балон Л.В., Долгопольский В.С., Криворудченко В.Ф. Кривые намагничивания рельсов Р65 и Р50. - Материалы научно-технической конференции ДорНТУ ССДЦ и кафедр института. - Ростов-на-Дону, 1971, с. 160-166.

5. Балон Л.В., Черняк И.М., Криворудченко В.Ф. Испытания тормозных систем подвижного состава промышленного транспорта. - В кн.: Повышение надежности и долговечности деталей подвижного состава. Труды Ростовского-на-Дону института инженеров железнодорожного транспорта. - Ростов-на-Дону, 1972, вып. 90, с. 27-34.

6. Балон Л.В., Долгопольский В.С., Гурицкий М.Ф. Исследование рельса как элемента магнитной цепи электромагнитного рельсового тормоза. - В кн.: Повышение эффективности автотормозов. Труды Ростовского-на-Дону института инженеров железнодорожного транспорта - Ростов-на-Дону, 1972, вып. 82, с. 62-76.

7. Балон Л.В., Оганесянц А.Г. Методика и результаты исследований по определению коэффициента трения электромагнитного рельсового тормоза при натуральных испытаниях тягового агрегата П32М. - В кн.: Повышение эффективности автотормозов. Труды Ростовского-на-Дону института инженеров железнодорожного транспорта. - Ростов-на-Дону, 1972, вып. 82, с. 97-107.

8. Эффективность электромагнитного рельсового тормоза/ Керминский Д.Э., Балон Л.В., Хоружий А.С., Браташ В.А. - Промышленный транспорт, 1973, № 9, с. 14-16.

9. Балон Л.В. Эффективность работы рельсового тормоза на стрелках и в кривых малого радиуса. - в кн.: Пути повышения экономической эффективности и улучшения ремонта и эксплуатации подвижного состава предприятий Минчермета СССР. - (Тезисы докладов Всесоюзного научно-производственного семинара). - Кривой Рог, 1974, с. 86-87.

10. Балон Л.В., Браташ В.А., Криворудченко В.Ф. Повышение эффективности тормозов и обеспечение безопасности движения железнодорожного транспорта - основная задача при решении проблемы увеличения руководящих уклонов. - (Тезисы докладов Всесоюзного научно-производственного семинара). - Кривой Рог, 1974, с. 84-86.

11. Балон Л.В. Исследование величины тормозной силы электромагнитного рельсового тормоза на различных участках пути. - В кн.: Вопросы конструкции и динамики локомотивов. Труды Ростовского-на-Дону института инженеров железнодорожного транспорта. - Ростов-на-

-Дону, 1974, вып. 104, с. 99-100.

2. Балон Л.В., Криворудченко В.Ф. О возможности эксплуатации железнодорожного транспорта в условиях глубоких карьеров. - кн.: Вопросы надежности и повышения эффективности эксплуатации и ремонта подвижного состава. Труды Ростовского-на-Дону института инженеров железнодорожного транспорта. - Ростов-на-Дону, 1974, вып. с. 72-74.

13. Балон Л.В. Исследование новых материалов для магнитопровода электромагнитного рельсового тормоза. - кн.: Вопросы конструкции и динамики локомотивов. Труды Ростовского-на-Дону института инженеров железнодорожного транспорта. - Ростов-на-Дону, 1975, вып. 115, с. 45-51.

14. Балон Л.В., Криворудченко В.Ф. Исследование электромагнитных и тяговых характеристик ЭМРТ из чугуна с шаровидными графитом. - В кн.: Вопросы надежности и повышения эффективности эксплуатации и ремонта подвижного состава. Труды Ростовского-на-Дону института инженеров железнодорожного транспорта. - Ростов-на-Дону, 1976, вып. 128, с. 44-50.

15. Карминский Д.Э., Балон Л.В., Малоземов В.Н. Определение температур в магнитопроводе рельсового тормоза при различных режимах работы. - В кн.: Вопросы конструкции, динамики, эксплуатации и ремонта вагонов, Труды Ростовского-на-Дону института инженеров железнодорожного транспорта. - Ростов-на-Дону, 1976, вып. 135, с. 4-16.

16. Балон Л.В., Криворудченко В.Ф. Стендовые и эксплуатационные испытания электромагнитного рельсового тормоза с полусными наконечниками из различных материалов. - В кн.: Вопросы надежности и повышения эффективности эксплуатации и ремонта подвижного состава. Труды Ростовского института инженеров железнодорожного транспорта. - Ростов-на-Дону, 1977, вып. 138, с. 104-110.

17. А.С. 549936 (СССР) кл. С22С37/04 Чугун с шаровидным графитом/ Балон Л.В., Неижко И.Г., Степанов О.М. Опубл. в В.И., 1976, № 48.

18. Балон Л.В., Балаш В.А. Поверхностные температуры при действии электромагнитного рельсового и дискового тормозов поезда РТ-200. В кн.: Вопросы конструкции, динамики и эксплуатации локомотивов и повышение эффективности автотормозов. Межвузовский сборник научных трудов. - Ростов-на-Дону, 1978, вып. 141, с. 56-60.

19. Карминский Д.Э., Балон Л.В., Малоземов В.Н. Исследование frictionных свойств материалов для электромагнитного рельсового тормоза. - В кн.: Вопросы конструкции, динамики и эксплуатации локомотивов и повышение эффективности автотормозов. Межвузовский

сборник. - Ростов-на-Дону, 1978, вып. 141, с. 130-133.

20. Балон Л.В. Исследование параметрических колебаний электромагнитного рельсового тормоза. - В кн.: Вопросы конструкции, динамики и эксплуатации локомотивов и повышение эффективности автотормозов. Межвузовский сборник научных трудов. - Ростов-на-Дону, 1978, вып. 141, с. 50-53.

21. Балон Л.В. Электромагнитные рельсовые тормоза. - М.: Транспорт, 1979, - 104 с.

22. Условия работы фрикционных элементов электромагнитного рельсового тормоза/ Балон Л.В., Браун Э.Д., Гинзбург А.Г. и др. М.: Транспорт, Промышленный транспорт, 1980, № 8, с. 17-18.

23. Балон Л.В., Гендельман И.М. Тормозные свойства тяговых агрегатов. Транспорт, Промышленный транспорт, 1980, 3, с. 22-23.

24. Балон Л.В., Гендельман И.М. Решение тормозных задач для карьерных поездов методом ручного счета. - В кн.: Исследование надежности и эффективности использования локомотивов при вождении поездов повышенной массы. Межвузовский тематический сборник. - Ростов-на-Дону, 1981, вып. 163, с. 50-54.

25. Балон Л.В. Исследование продольных сил в карьерном поезде при совместной работе пневматических и электромагнитных тормозов. - В кн.: Вопросы надежности и повышения эффективности эксплуатации и ремонта подвижного состава. Межвузовский тематический сборник. - Ростов-на-Дону, 1981, вып. 163, с. 18-23.

26. Балон Л.В. Исследование параметрических колебаний башмака электромагнитного рельсового тормоза. - В кн.: Исследование надежности и эффективности использования локомотивов при вождении поездов повышенной массы. Межвузовский тематический сборник. - Ростов-на-Дону, 1981, вып. 161, с. 43-50.

27. А.С. 863699 (СССР) кл. С22С37/04 Чугун с шаровидны графитом / Балон Л.В., Неижко И.Г., Степанов О.М., Белинская И.А., Тарасенко В.О. Оpubл. в Б.И. 1981, № 34.

28. Балон Л.В. Аналитический метод расчета тормозного пути при совместном действии электромагнитного и пневматического тормозов. - В кн.: Повышение эксплуатационной надежности локомотивов и улучшение их использования. Межвузовский тематический сборник. - Ростов-на-Дону, 1982, вып. 166, с. 72-80.

29. Балон Л.В., Гендельман И.М. Теоретическое обоснование и анализ тормозных средств поезда с учетом весовой нормы и уклона. - В кн.: Проблемы совершенствования конструкции, технического обслуживания и эксплуатации локомотивов. Межвузовский тематический

сборник. - Ростов-на-Дону, 1984, вып. 174, с. 86-70.

30. Балон Л.В. Повышение эффективности электромагнитных тормозов. - В кн.: Проблемы совершенствования конструкции, технического обслуживания и эксплуатации локомотивов. Межвузовский тематический сборник. - Ростов-на-Дону, 1984, вып. 174, с. 58-62.

31. Электроподвижной состав промышленного транспорта, справочник. Балон Л.В., Браташ В.А., Витуч М.Л. и др.: Под ред. Балона Л.В. - М.: Транспорт, 1987. - 296 с.

32. Балон Л.В., Браташ В.А., Елсаков Г.М. Усовершенствование тормозной системы тяговых агрегатов. - Тезисы докладов VI Всесоюзной научно-технической конференции Состояние и перспективы развития электровозостроения в стране. Тбилиси, 1987, с. 62.

33. Балон Л.В. Методы тормозных расчетов подвижного состава, оборудованного электромагнитными рельсовыми тормозами. - Ростов-на-Дону, 1987. - 19 с.

34. Балон Л.В. Исследование тормозной силы ЭМРТ многофакторным анализом. - В кн.: Повышение эффективности эксплуатации локомотивов и совершенствование их конструкции. Межвузовский сборник научных трудов. - Ростов-на-Дону, 1988, с. 23-28.

35. Балон Л.В., Шаловалов В.В. Экспериментальные исследования электромагнитного рельсового тормоза для скоростного подвижного состава. - Тезисы докладов Всесоюзной конференции Проблемы механики железнодорожного транспорта. - Днепропетровск, 1988, с. 4-5.

36. Балон Л.В., Айзинбуц К.С. Повышение износостойкости деталей электромагнитного рельсового тормоза. - Трение и износ, 1989, т. 10, № 4, с. 745-748.

37. Балон Л.В. Повышение эффективности торможения железнодорожного подвижного состава. - В кн.: Совершенствование методов исследования, технологии ремонта тормозных устройств и ходовой части вагонов. Межвузовский сборник научных трудов. - Свердловск, 1990, вып. 82, с. 84-90.

38. Заявка на изобретение № 4759764/II (СССР) М.Кл.⁵ В 60Т 13/26, 15/60, приоритет 20.II.89, решение о признании изобретением от 23.10.90. Тормозная система многосекционного железнодорожного тягового средства / Балон Л.В., Елсаков Г.М., Маликов Н.В., Смородин В.А.

39. Заявка на изобретение № 4759765/25-II (СССР) М.Кл.⁵ В 60Т 13/26, 15/60, приоритет 20.II.89, решение о признании изобретением от 10.05.90 Тормозная система прицепных секций многосекционного железнодорожного тягового средства / Балон Л.В., Елсаков Г.М., Маликов Н.В., Смородин В.А.

40. Заявка на изобретение № 4826038/II (СССР) М. Кл.⁵ В 60Т 7/12, В 61Н 7/08 приоритет 14.05.90, решение о признании изобретением от 14.11.90 Устройство для управления рельсовым тормозом / Балон Л.В., Елсаков Г.М., Маликов Н.В.

41. Заявка на изобретение № 4693899/27-II (СССР) М.Кл.⁵ В60Т 7/12, В 61Н 7/08, приоритет 22.05.89, решение о признании изобретением от 23.05.90. Устройство для управления рельсовым тормозом / Балон Л.В., Елсаков Г.М., Маликов Н.В.

42. Балон Л.В., Елсаков Г.М., Маликов Н.В. Выбор рациональной тормозной системы для маневровых локомотивов. - В кн.: Совершенствование методов исследования, технологии ремонта тормозных устройств и ходовой части вагонов. Межвузовский сборник научных трудов. - Свердловск, 1990, Вып. 82, с. 129-132.

Балон

БАЛОН Леонид Веняминович

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОРМОЖЕНИЯ
ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО
ТРАНСПОРТА**

**05.22.07 - Подвижной состав железных дорог
и тяга поездов**

05.22.12 - Промышленный транспорт

Подписано к печати 04.09.91. Формат 60x84 1/16. Бумага для
многочетельных аппаратов. Печать офсетная. Усл.печ.л.2,8.
Уч.-над.л. 2,2. Тираж 100 экз. Заказ № 796. Бесплатно.
Участок оперативной полиграфии ДИИТа. 320700, ГСП,
Днепропетровск, 10, ул.Академика В.А.Лазаряна, 2.

Сканировала Юнаковская В. В.