Министерство транспорта Российской Федерации

Федеральное агентство железнодорожного транспорта

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего профессионального образования

«ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ

СООБЩЕНИЯ»

На правах рукописи

НИКИТИН Дмитрий Николаевич

ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА КОЛЕСНЫХ ПАР ЛОКОМОТИВОВ С ТЕЛЕЖКАМИ ПОВОДКОВОГО ТИПА

Специальность 05.22.07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и

электрификация

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук

Научный руководитель

кандидат технических наук, доцент

Новачук Ярослав Антонович

Хабаровск – 2015

2

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 5

1 АНАЛИЗ ИЗНАШИВАНИЯ БАНДАЖЕЙ КОЛЕС ЛОКОМОТИВОВ 13

1.1 Краткий обзор публикаций по проблеме изнашивания бандажей колес локомотивов 13

1.2 Состояние и динамика износа бандажей колес в условиях эксплуатации 19

1.3 Постановка задач диссертационной работы 27

2 ПРИЧИНЫ И ФАКТОРЫ ИЗНАШИВАНИЯ БАНДАЖЕЙ КОЛЕС

ЛОКОМОТИВОВ 29

2.1 Характерные неисправности буксовых поводков 29

2.2 Анализ работоспособности элементов буксового поводка 36

2.3 Специфика работы резиновых деталей в конструкциях экипажной части локомотивов 37

2.4 Параметры технологического изнашивания бандажей 39

2.5 Выводы 43

3. КОМПЛЕКСНАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МНОГОЗВЕННОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ «ТЕЛЕЖКА – БУКСОВЫЕ ПОВОДКИ –

БУКСОВЫЕ УЗЛЫ – ГРЕБНИ КОЛЕСНОЙ ПАРЫ – РЕЛЬСОВАЯ КОЛЕЯ» .... 45

3.1 Задачи моделирования комплексной математической модели многозвенной механической системы «тележка – буксовые поводки – буксовые узлы – гребни колесной пары – рельсовая колея» 45

3.2 Исследования кинематики движения колесных пар 52

3.2.1 Детализация, систематизация, обобщение и адаптация свойств циклоиды .. 55

3.3 Анализ механизма движения и взаимодействия железнодорожного колеса с рельсом 56

3.4 Метод определения скорости взаимодействия колеса с рельсом 60

3.4.1 Скорость взаимодействия колеса с рельсом 60

3.4.2 Кинематические параметры точки Б, расположенной на гребне бандажа 61

3

3.5 Выводы 64

4 КОНСТРУКТОРСКОЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ БУКСОВОГО ПОВОДКА 65

4.1 Методы повышения работоспособности буксовых поводков 65

4.2 Выбор и обоснование физическо-механических свойств материала шарниров 69

4.3 Метод обоснования выбора материала шарнира 71

4.3.1 Перемещения и деформации в цилиндрической системе координат 73

4.3.2 Тензор напряжений 75

4.3.3 Постановка задачи теории вязкоупругости в напряжениях и деформациях 77

4.3.4 Решение краевых задач вязкоупругости (в напряжениях и деформациях) с учетом статических и динамических воздействий 78

4.4 Расчет полиамидной втулки буксового поводка при различных силовых воздействиях на ее внутреннюю поверхность 84

4.5 Выводы 89

5 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ШАРНИРОВ

БУКСОВЫХ ПОВОДКОВ 91

5.1 Эксплуатационные исследования шарниров буксовых поводков 91

5.2 Результаты поездных испытаний тепловоза 3ТЭ10МК 95

5.3 Лабораторно-стендовые испытания модернизированного буксового поводка 107

5.4 Результаты лабораторно-стендовых испытаний модернизированного буксового поводка 109

5.5 Выводы 110

6 ТЕХНОЛОГИЯ И ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТОИМОСТНЫЙ АНАЛИЗ

ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ БУКСОВЫХ ПОВОДКОВ 112

6.1 Технология модернизации буксового поводка 112

6.2 Функционально-стоимостный анализ эффективности модернизации буксового поводка 112

4

6.2.1 Экономическая эффективность внедрения модернизированного буксового поводка 115

6.2.2 Экономическая эффективность от снижения стоимости ремонта одного

БП в процессе деповского ремонта в объемах ТР-3 и СР 116

6.3 Выводы 117

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 118

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ 120

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 121

Приложение А ‒ Патент на полезную модель ‒ «Буксовый поводок» 132

Приложение Б ‒ Результаты расчетов компьютерного моделирования

методом конечных элементов буксового поводка 133

Приложение В ‒ Общий вид и технические характеристики датчиков,

применявшихся при эксплуатационных испытаниях 135

Приложение Г ‒ Акт эксплуатационных испытаний 141

Приложение Д ‒ Лабораторно-стендовые испытания модернизированных

буксовых поводков 142

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований выполнены научно обоснованные

технические и технологические разработки, направленные на повышение ресурса

бандажей колесных пар локомотивов путем замены резины в поводковых

шарнирах конструкционным материалом, который обеспечивает их

долговечность и нормативную длину поводков в процессе эксплуатации.

В диссертационной работе получены научные и практические результаты.

1. По результатам целенаправленного анализа эксплуатационной статистики

и аналитического ранжирования установлено, что одним из основных факторов,

определяющим ресурс бандажей, является низкая долговечность обрезиненных

шарниров поводковых связей тележки с буксами КМБ.

2. Характер неисправностей обрезиненных шарниров и их металлических

деталей создает, в межремонтный период эксплуатации локомотивов,

несоответствие нормативных параметров (320±0,2 мм) четырех буксовых

поводков каждого КМБ, следствием которого является перекос оси колесной

пары в раме тележки тепловоза от 2 до 14 мм.

3. На основе разработанной комплексной математической модели

многозвенной механической системы «тележка ‒ буксовые поводки ‒ буксовые

узлы ‒ гребни колесной пары ‒ рельсовая колея» получена возможность

определять трехмерное положение оси колесной пары в зависимости от линейных

параметров буксовых поводков. Экспериментально подтверждается, что при

увеличении перекоса оси колесной пары с 2 до 6 мм интенсивность изнашивания

гребней увеличивается в 5–6 раз. Модель дополнена фундаментальными

положениями кинематики движения колесной пары, позволяющая оценивать

значение скорости взаимодействия гребня с боковой поверхностью головки

рельса в зависимости от поступательной скорости локомотива и диаметров его

колес. Получена возможность компьютерной визуализации процесса

взаимодействия гребней (набегающего, выбегающего) и боковых поверхностей

119

головок рельсовой колеи, в графическом и параметрическом представлении, с учетом перекоса колесной пары.

4. Получил развитие метод оптимального расчета параметров шарниров

буксового поводка из композиционного материала. Модель буксового поводка

построена с помощью программы «Ansys 14.5. Workbench» (элементов анализа

«Static Structural» и «Explicit Dynamics»), что позволяет выполнять

многовариантные расчеты с учетом физико-механических свойств

конструкционного материала (износостойкость и прочность), используя теорию

краевых задач вязкоупругости в напряжениях и деформациях.

5. Поездные испытания резино-металлических шарниров буксовых

поводков показали, что значения изменения длины буксовых поводков

превышают альбомные допуски в 40,6 раз (от 2 до 12 мм), что составляет 46 % от

всего времени движения локомотива. Изготовлен и прошел стендовые испытания

буксовый поводок с шарнирами из конструкционного материала. Предельное

значение параметра длины модернизированного букового поводка достигает

320±0,04 мм, что не превышают альбомные допуски (320±0,2 мм). Оптимальная

конструкция поводковых шарниров защищена патентом на полезную модель

№ 146946 (приложение А).