

На правах рукописи
УДК 629 4.027.43

ТРОФИМОВИЧ Виталий Владимирович



**ОСОБЕННОСТИ ДВИЖЕНИЯ ТЕЛЕЖЕК
ЭЛЕКТРОВОЗА ЭП1 В КРИВЫХ МАЛОГО РАДИУСА
И ПРОБЛЕМА СНИЖЕНИЯ БОКОВОГО
ИЗНОСА ГРЕБНЕЙ КОЛЁС**

Специальность 05.22.07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов
и электрификация

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Хабаровск
2001

Работа выполнена в Дальневосточном государственном университете путей сообщения.

Научный руководитель доктор технических наук, профессор
Владимир Иванович Доронин

Официальные оппоненты доктор технических наук, профессор
Виктор Алексеевич Нежаев

кандидат технических наук, доцент
Ярослав Антонович Новачук

Ведущее предприятие Дальневосточная железная дорога

Защита диссертации состоится "28" ноября 2001 года в 15 час. 00 мин. на заседании диссертационного совета К 218 003 03 Дальневосточного государственного университета путей сообщения по адресу 680021, г Хабаровск, ул Серышева, 47, аудитория 236

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ДВГУПС.

Автореферат разослан "24" октября 2001 года

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, просим высылать в адрес диссертационного совета университета

Ученый секретарь диссертационного совета
кандидат технических наук, профессор



Ю П Федосеев

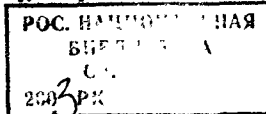
ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Для Российских железных дорог проблема снижения бокового износа рельсов и гребней колесных пар подвижного состава является одной из наиболее актуальных, поскольку, начиная с 1985 года, интенсивность бокового износа стала резко прогрессировать. Сейчас отказы по износу гребней колес занимают "ведущее место" среди других технических отказов в эксплуатации локомотивов. Особо высокий уровень интенсивности бокового износа гребней колес имеет место на железных дорогах с большим количеством кривых участков пути малого радиуса. Требуется значительные затраты дополнительных средств на поддержание тягового подвижного состава и верхнего строения пути в технически исправном состоянии.

В 1989 году в ХабиИЖТ под руководством профессора В. Г. Григоренко были начаты исследования причин повышенного бокового износа рельсов и гребней колес подвижного состава, эксплуатируемого на Дальневосточной и Забайкальской железных дорогах. В этих исследованиях были установлены причинноследственные связи между изменениями параметров поездной работы электровозов ВЛ80 и интенсивностью бокового износа рельсов и гребней колес в кривых малого радиуса.

В последние годы локомотивный парк ДВЖД пополнился новыми локомотивами серии ЭП1. Возникла необходимость исследования факторов, влияющих на интенсивность износа гребней колесных пар этих локомотивов, так как их вписывание в кривые малого радиуса имеет ряд особенностей. Экипажная часть электровозов ЭП1 отличается от электровозов ВЛ80: новый локомотив имеет три двухосные тележки под одним кузовом и вместо шкворневого узла для передачи продольных сил применены наклонные тяги.

Интенсивность износа гребней колес некоторых электровозов ЭП1, даже за короткий срок эксплуатации, достигла 0,8 - 0,9 мм на 10^4 км пробега, что превышает в два раза нормативную величину. Потребовалось установить, какие причины привели к этому, и какие практические меры следует принимать для ликвидации этой ситуации.



Цель работы состоит в разработке алгоритма, позволяющего качественно оценивать влияние эксплуатационных и конструкционных факторов на процесс износа гребней колес и рельсов при движении электровоза ЭП1 в переходных и круговых кривых малого радиуса.

Для достижения цели решались следующие задачи

1 Проведение анализа известных методов исследования причин износа гребней колесных пар локомотивов.

2 Теоретическое исследование процесса движения тележек электровоза ЭП1 в переходных и круговых кривых, а именно: разработка математической модели, позволяющей определять силы, действующие на кузов и на тележки электровоза, силы возникающие на крутах катания колес, силу давления гребня колеса на рельс – в зависимости от параметров – переходной кривой, упругого проскальзывания колес, геометрических, массовых и динамических параметров электровоза

3 Разработка программного обеспечения расчетов.

4 Проведение численного анализа влияния различных эксплуатационных факторов на силу нормального давления гребня колеса на рельс, а следовательно и на критерий износа для определения путей снижения износа

5 Проведение экспериментальных исследований условий вписывания электровозов ЭП1 в переходные и круговые кривые, с целью подтверждения теоретических выводов и оценки адекватности математической модели реально происходящему процессу

6 Разработка устройства для управления тележками электровоза, позволяющего снизить интенсивность бокового износа рельсов и гребней колес за счет принудительного удержания тележек в хордовом положении

Методы исследования. Теоретические исследования выполнены на основе методов аналитической механики описания движения сложных механических систем, численных методов решения систем нелинейных алгебраических уравнений; методов интегрирования дифференциальных уравнений

Научная новизна работы состоит в следующем

1 Создана математическая модель движения электровоза с осевой формулой $2_0-2_0-2_0$ в кривых участках пути малого радиуса, позволяющая получить закономерности изменения углов перекоса локомотивных тележек и сил нормального давления гребней набегающих колес на рельс при движении по переходным и круговым кривым. В математической модели впервые учтено.

- изменение условий передачи тягового усилия от тележек к кузову,
- особенности экипажной части локомотива, имеющей три тележки;
- изменение расстояния между контактными точками колес одной колесной пары при развороте и поперечном смещении тележки в рельсовой колее;
- "забегание" точки контакта гребня колеса с рельсом, относительно соответствующей точки на круге катания.

2 Рассмотрена кинематика тележек локомотива в переходной кривой с определением законов изменения углов между продольной осью кузова и касательными к осевой линии рельсовой колее, проведенными через центр тяжести каждой тележки

3 Исследованы переходные процессы движения локомотивной тележки при входе в переходную кривую, с определением промежутка времени от момента входа до момента прижатия гребня колеса к наружному рельсу, и переходные процессы при переходе тележки на круговую кривую.

4. Доказано, что варьированием в установленных пределах величинами скорости движения, силой тяги электровоза в кривой, шириной колее, возвышением наружного рельса не удастся существенно изменить силы нормального давления на рельс гребней набегающих колес тележек.

5. Установлено, что для существенного уменьшения интенсивности износа гребней колес электровоза ЭП1 при прохождении переходных и круговых кривых следует установить между кузовом секции и рамой каждой тележки разворачивающее устройство с определенным законом изменения момента пары сил, действующих на тележку, разработана принципиальная схема такого устройства.

Практическая ценность работы.

1. Установлено, что, при входе тележки в переходную кривую на первых метрах, происходит прижатие гребня набегающего колеса к наружному рельсу. В последующем движении тележки в переходной и круговой кривых прижатие гребня набегающего колеса к рельсу сохраняется. Угол перекоса тележки при движении в переходной кривой после прижатия гребня к рельсу плавно возрастает. Сила нормального давления гребня на рельс увеличивается с увеличением угла перекоса тележки. В круговой кривой угол перекоса тележки продолжает увеличиваться, не достигая максимального значения, определяемого базой тележки и шириной рельсовой колеи.

2. Влияние наклонных тяг не существенно сказывается на процесс перекоса тележки и на силу давления гребня.

3. Установлено, что, по мере удаления тележек от головы электровоза, сила давления гребня набегающего колеса на рельс увеличивается.

4. Создано устройство для автоматического управления тележками в кривых участках пути, позволяющее снизить силу давления гребня на рельс, что приводит к уменьшению бокового износа гребней колес.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались на четырех научно-технических конференциях кафедр ДВГУПС (г. Хабаровск, 1998, 1999, 2000, 2001 гг.), отраслевой научно-технической конференции "Актуальные проблемы развития железнодорожного транспорта и роль молодых ученых в их решении" (г. Ростов-на-Дону, 1998 г.), третьем международном студенческом конгрессе стран Тихоокеанского региона (г. Владивосток, 1999 г.), II и III краевом конкурсе работ молодых ученых и аспирантов "Наука – Хабаровскому краю" (г. Хабаровск, 2000 г., 2001 г.), конференции, посвященной 70-летию ОмГУПС "Новые технологии – железнодорожному транспорту" (г. Омск, 2000 г.).

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в 14 печатных работах и в одном научно-исследовательском отчете.

Структура работы. Диссертация состоит из введения, 6 глав, основных выводов, библиографического списка, содержит 179 страниц машинописного текста, 5 таблиц, 50 рисунков, 1 приложение.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении отражена актуальность исследуемой проблемы, определено направление исследований

Первая глава посвящена анализу существующего уровня проработки вопроса по методам исследования причин износа гребней локомотивных колесных пар и анализу проблемы взаимодействия колес с рельсами в переходных и круговых кривых малого радиуса.

Большой вклад в исследование данных вопросов внесли отечественные ученые С.М. Андриевский, Г.П. Бурчак, М.Ф. Вериго, В.Г. Григоренко, В.И. Доронин, О.П. Ершков, В.А. Камаев, С.М. Куценко, А.Я. Коган, В.Н. Кашников, В.А. Лазарян, В.Н. Лисунов, В.Б. Медель, В.М. Панский, Ю.С. Ромен, Н.А. Радченко, А.Н. Савоськин, М.А. Фришман и другие, а также ряд зарубежных ученых: Ф. Картер, С. Портер, Т. Мюллер, А. де Патер, и др.

На основании анализа существующего уровня проработки вопроса определена программа исследований

1 Чтобы активно влиять на уменьшение износа гребней колес электровоза ЭП1 необходимо, прежде всего, установить причины, определяющие величину силы давления гребня на рельс, для чего необходимо разработать математическую модель движения тележек этого локомотива в кривых

2 Используя математическую модель исследовать движение тележек локомотива в переходных и круговых кривых, определить закон изменения угла перекоса тележки в зависимости от пройденного пути и законы изменения силы нормального давления гребня на рельс в переходных и круговых кривых

3 Экспериментально подтвердить результаты теоретического исследования

4 Разработать предложение для снижения интенсивности износа гребней колес электровоза ЭП1

Во второй главе изложена методика получения расчетных зависимостей, образующих в совокупности математическую модель, описывающую движение тележек электровоза ЭП1 в переходных и круговых кривых.

При разработке математической модели решались следующие задачи.

1 Проведен анализ сил, действующих на кузов секции электровоза при движении в переходной кривой в режиме тяги. Учитывалось, что каждая секция имеет три тележки, передача тягового усилия от тележек к кузову осуществляется через наклонные тяги. Из шести уравнений кинестатики для кузова секции определена величина тягового усилия на автосцепках секции и силовая нагрузка, передающаяся от кузова на тележки.

2 Получены выражения для определения активных и инерционных сил, действующих на тележки секции электровоза. Введены две системы координат. Центр первой системы перемещается по осевой линии рельсовой колеи с постоянной скоростью, оси τ , n , b – естественные оси для осевой линии рельсовой колеи. Движение этой системы – переносное движение тележки. Центр второй системы отсчета связан с центром масс тележки, в качестве координатных осей взяты оси симметрии тележки. Движение второй системы относительно первой – относительное движение тележки.

3 В движении тележки по переходной кривой выделены два этапа: первый – вход в переходную кривую до момента касания наружного рельса гребнем набегающего колеса, второй – движение по переходной кривой с прижатием гребня к наружному рельсу. На первом этапе относительное движение тележки имеет две степени свободы: поперечный сдвиг центра масс в рельсовой колее и поворот тележки в плоскости рельсовой колеи вокруг центра масс.

4 Определены касательные силы на кругах катания колес электровоза для первого этапа движения. Эти силы пропорциональны скоростям упругого проскальзывания по рельсу соответствующих контактных точек колес (методика С.М. Куценко).

Цифрами 1, 2, 3, 4 (рис. 1) обозначены точки контакта с рельсами поверхностей катания колес, A' – точка на осевой линии рельсовой колеи, соответствующая среднему положению центра масс тележки в рельсовой колее (пунктирный контур),

l_1^H , l_4^H – расстояния от контактных точек колес до продольной вертикальной плос-

кости симметрии тележки; G – мгновенный центр кривизны осевой линии рельсовой колеи; F_τ и F_n – касательная и нормальная силы в мнимом шкворневом узле C_m тележки, $R_r^{ин}$ – главный вектор сил инерции тележки; $R_{кор}^{ин}$ – главный вектор кориолисовых сил инерции

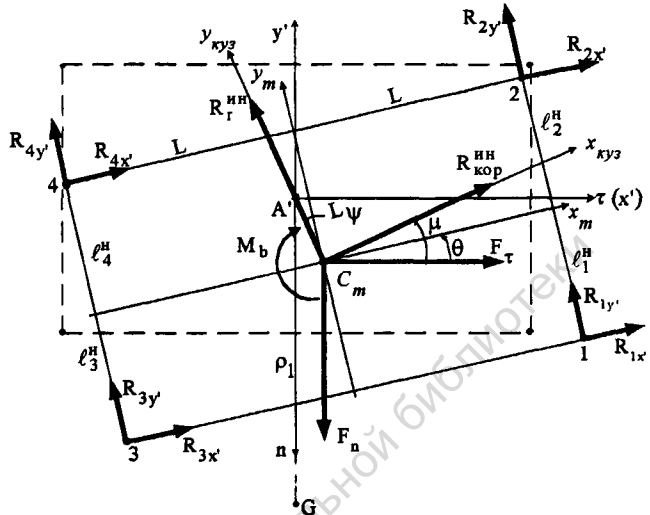


Рис. 1 Расчетная схема касательных сил в точках контакта колес тележки электровоза с рельсами для первого этапа движения в переходной кривой

тележки, R_1, R_2, R_3, R_4 – касательные силы на кругах катания колес. За обобщенные координаты принимались величины ψ и θ – безразмерная величина, характеризующая поперечное смещение центра масс тележки в рельсовой колее, θ – угол перекоса тележки (угол между касательной τ и продольной осью тележки x_m). При определении абсолютных скоростей упругого проскальзывания колес по рельсу учитывались изменения координат контактных точек за счет смещения центра масс тележки в рельсовой колее, а так же особенности переходной кривой

Формулы для проекций на оси x' и y' касательных сил R_1, R_2, R_3, R_4 для первого этапа движения тележки в переходной кривой имеют вид:

$$R_{1,2x'} = -\alpha_\partial \cdot N_{1,2} [\dot{S}(1 \mp \delta_1 S) - b_n \dot{\phi} [1 - \delta_4 \pm \beta_3(\psi - \theta)] + L \dot{\psi} \mu \pm \ell_n \dot{\theta}];$$

$$R_{1,2y'} = -\alpha_\partial \cdot N_{1,2} [-\dot{S}(\delta_2 \pm \delta_1 \theta) - b_n \dot{\phi} \theta - L \dot{\psi} + L \dot{\theta}];$$

$$R_{3,4x'} = -\alpha_\partial \cdot N_{3,4} [\dot{S}(1 \mp \delta_1 S) - b_n \dot{\phi} [1 - \delta_4 \pm \beta_3(\psi + \theta)] + L \dot{\psi} \mu \pm \ell_n \dot{\theta}];$$

$$R_{3,4}y' = -\alpha_\partial \cdot N_{3,4}[-\dot{S}S(-\delta_2 \pm \delta_1\theta) - b_n\phi\theta - L\psi - L\dot{\theta}],$$

где \dot{S} – скорость локомотива; $\dot{\phi}$ – угловая скорость колесной пары; α_∂ – динамический коэффициент упругого проскальзывания колеса по рельсу; N_{i-} – вертикальная нагрузка на i -е колесо тележки, $i = 1, 2, 3, 4$. При определении N_i учитывалось влияние момента M_n , момента M_T и гироскопического момента

5 Для сил (рис 1) по принципу Даламбера составлена система трех уравнений, включающая три неизвестные величины: угловую скорость вращения колесных пар, обобщенные координаты ψ и θ

$$\begin{aligned} F_T + R_{кор}^{UH} - R_r^{UH} \mu + R_{1x'} + R_{2x'} + R_{3x'} + R_{4x'} &= 0, \\ -F_n + R_{кор}^{UH} \mu + R_r^{UH} + R_{1y'} + R_{2y'} + R_{3y'} + R_{4y'} &= 0; \\ -M_b - R_{1x'}y_1^H - R_{2x'}y_2^H - R_{3x'}y_3^H - R_{4x'}y_4^H + \\ + R_{1y'}x_1^H + R_{2y'}x_2^H + R_{3y'}x_3^H + R_{4y'}x_4^H &= 0, \end{aligned}$$

где x_i^H и y_i^H – координаты контактных точек в системе координат $C_0x'y'$

После исключения из системы угловой скорости вращения колесных пар и некоторых преобразований получена система двух дифференциальных уравнений

$$\begin{aligned} A_1 \cdot \ddot{\psi} + A_2 \cdot \dot{\psi} + A_3 \cdot \dot{\theta} + A_4 \cdot \psi + A_5 \cdot \theta &= A_6 \cdot t_1 + A_7; \\ B_1 \cdot \ddot{\theta} + B_2 \cdot \dot{\psi} + B_3 \cdot \dot{\theta} + B_4 \cdot \psi + B_5 \cdot \theta &= B_6 \cdot t_1 + B_7 \cdot t_1^2 + B_8, \end{aligned}$$

где A_i, B_i – коэффициенты, определяемые по известным геометрическим, инерционным и силовым параметрам тележки, $i = 1, 2, \dots, 8$, t_1 – время от момента входа тележки в переходную кривую до момента касания рельса гребнем набегающего колеса (время первого этапа)

Интегрированием системы уравнений получены законы изменения угла перекоса θ и координаты поперечного смещения тележки в рельсовой колее ψ от времени

Сформировано условие, при котором произойдет касание гребнем колеса наружного рельса После касания гребнем наружного рельса тележка будет иметь одну обобщенную координату – угол перекоса θ (второй этап)

6 Определены касательные силы на кругах катания колес для второго этапа движения Показана (рис 2) проекция силы нормального давления гребня на рельс N'_2 и сила трения $f'_2 N'_2$ Формулы для проекций на оси x' и y' касательных сил R_1, R_2, R_3, R_4 для второго этапа движения тележки в переходной кривой имеют вид

$$R_{1x'} = -\alpha_\partial \cdot N_1 [\dot{S}(1 - \delta_1 S + L\eta_0\theta) - b_n\phi(1 - \beta_6 - 2\delta_4 S) + \theta \ell_n(1 + \beta_0 + \delta_5 S + 2\delta_6 S)];$$

$$R_{2x'} = -\alpha_\partial \cdot N_2 [\dot{S}(1 + \delta_1 S + L\eta_0\theta) - b_n\phi(1 + \beta_6) + \theta \ell_n(-1 + \beta_0 + \delta_5 S)];$$

$$R_{3x'} = -\alpha_\partial \cdot N_3 [\dot{S}(1 - \delta_1 S + L\eta_0\theta) - b_n\phi(1 - \beta_6 - 2\delta_4 S + 2\beta_3\theta) + \theta \ell_n(1 + \beta_0 + \delta_5 S + 2\delta_6 S)];$$

$$R_{4x'} = -\alpha_\partial \cdot N_4 [\dot{S}(1 + \delta_1 S + L\eta_0\theta) - b_n\phi(1 + \beta_6 - 2\beta_3\theta) + \theta \ell_n(-1 + \beta_0 + \delta_5 S)];$$

$$R_{1y'} = -\alpha_\partial \cdot N_1 [\dot{S}(\beta_1 - \delta_2 S - \delta_1 S\theta) - b_n\phi\theta(1 - \beta_6 - 2\delta_4 S)];$$

$$R_{2y'} = -\alpha_\partial \cdot N_2 \dot{S}[(\beta_1 - \delta_2 S + \delta_1 S\theta) - b_n\phi\theta(1 + \beta_6)];$$

$$R_{3y'} = -\alpha_\partial \cdot N_3 [\dot{S}(\beta_1 + \delta_2 S - \delta_1 S\theta) - b_n\phi\theta(1 - \beta_6 - 2\delta_4 S) - 2L\theta];$$

$$R_{4y'} = -\alpha_\partial \cdot N_4 [\dot{S}(\beta_1 + \delta_2 S + \delta_1 S\theta) - b_n\phi\theta(1 + \beta_6) - 2L\theta].$$

7. Составлены три уравнения по принципу Даламбера для всех сил (рис 2)

$$F_\tau + R_{\text{коп}}^{\text{HH}} + R_r^{\text{HH}} \mu + N'_2(f'_2 - \nu_2) + R_{1x'} + R_{2x'} + R_{3x'} + R_{4x'} = 0;$$

$$-F_n + R_{\text{коп}}^{\text{HH}} \mu - R_r^{\text{HH}} - N'_2(1 + f'_2 \nu_2) + R_{1y'} + R_{2y'} + R_{3y'} + R_{4y'} = 0;$$

$$\Sigma M_o(\bar{R}_1) - (R_{1y'} + R_{2y'} + R_{3y'} + R_{4y'}) (x_2 + f'_2) - F_\tau \cdot A'C_m + (F_n + R_r^{\text{HH}}) [A'C_m \mu + (x_2 + f'_2) \nu_2] - R_{\text{коп}}^{\text{HH}} \cdot A'C_m - M_b = 0,$$

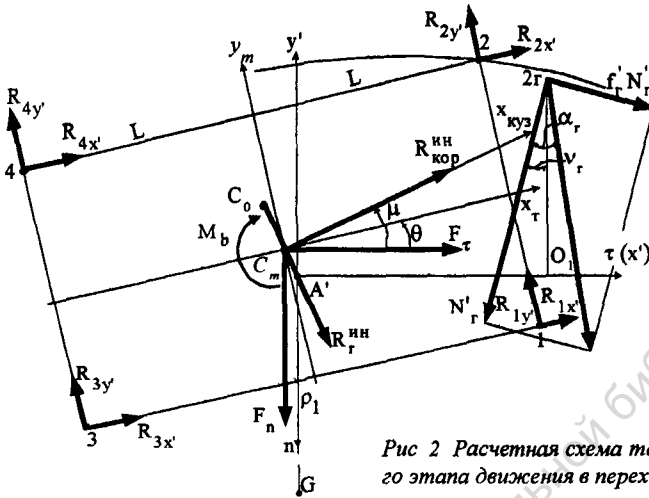


Рис 2 Расчетная схема тележки для второго этапа движения в переходной кривой

После преобразования этих уравнений получено дифференциальное уравнение, характеризующее изменение угла перекоса тележки θ

$$C_1 \cdot \ddot{\theta} + C_2 \cdot \dot{\theta} + C_3 \cdot \theta = C_4 \cdot t_2 + C_5 \cdot t_2^2 + C_6,$$

где t_2 – время движения тележки в переходной кривой после касания гребня наружного рельса (второй этап)

После интегрирования дифференциального уравнения получен закон изменения угла перекоса тележки

8 Получен закон из уравнений п 7 изменения силы нормального давления гребня набегающего колеса на рельс – в зависимости от времени движения

$$N'_2 = -\alpha_0 F_b \{ \dot{S}(\beta_1 + \beta_4 \delta_2 S - \delta_1 \beta_5 S \theta) - b_n \phi [1 - \beta_5 \beta_6 - \delta_4 (1 + \beta_5 S)] - L \dot{\theta} (1 + \beta_4) \} - F_n - R_r^{un}.$$

9 Методика исследования второго этапа движения тележки по переходной кривой с небольшими изменениями была использована для определения законов изменения угла перекоса тележки и силы давления гребня на рельс при движении в круговой кривой

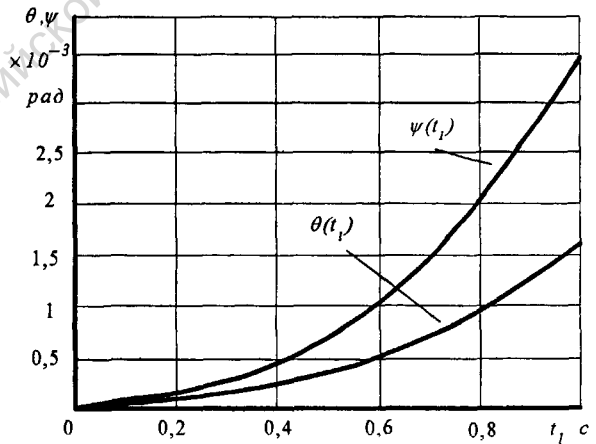
Третья глава содержит численный анализ факторов, влияющих на интенсивность износа гребней колес электровоза при движении в кривых малого радиуса

Для проведения численного анализа математическая модель была реализована в виде программы для ЭВМ, с помощью которой для различных исходных данных были выполнены расчеты. В качестве программы использовалась система математического программирования Maple VI

При описании процесса входа и движения тележки по переходной кривой представленные ниже графики построены для следующих исходных данных: тяговая нагрузка колесной пары – 40 кН ; скорость – 10 м/с ; длина переходной кривой – 100 м ; радиус круговой кривой – 300 м ; возвышение наружного рельса – $0,15 \text{ м}$; параметры экипажной части электровоза и рельсовой колеи имеют номинальные размеры

На основании результатов расчета установлено, что гребни колес набегающих колесных пар тележек электровоза ЭП1 уже на первых метрах переходной кривой начинают прижиматься к наружному рельсу. Время движения до момента прижатия гребня колеса к наружному рельсу при указанных выше исходных данных составляет $1,03 \text{ с}$. Прижатие к наружному рельсу происходит главным образом за счет поперечного смещения центра масс тележки, то есть за счет увеличения обобщенной координаты ψ , тогда как до момента прижатия гребня к рельсу величина угла перекоса θ остается незначительной.

Построены графики (рис 3) для нулевых начальных условий. При не-



При не-

Рис 3 Зависимости обобщенных координат от времени для первого этапа движения тележки в переходной кривой

нулевых начальных условиях зависимости обобщенных координат θ и ψ существенно не изменяются ($\approx 2\%$)

Для первого этапа движения тележки в переходной кривой проанализирована зависимость его продолжительности от радиуса круговой кривой, длины переходной кривой, возвышения наружного рельса и от скорости электровоза. При различной комбинации величин указанных параметров продолжительность первого этапа находится в пределах $0,2 - 2$ с. Изменение силы нормального давления гребня на рельс в процессе разворота тележки в переходной кривой после касания гребнем набегающего колеса наружного рельса характеризуется графиком (рис. 4), из которого сле-

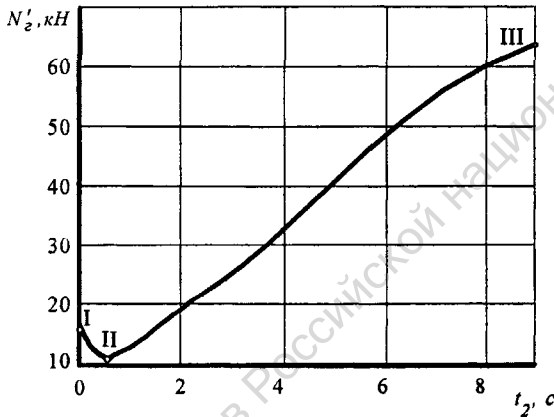


Рис. 4 Изменение величины N'_2 в переходной кривой

дует, что в самом начале (участок I-II) наблюдается некоторое уменьшение величины N'_2 , так как на этом участке величина N'_2 определяется преимущественно силами инерции тележки. На участке II-III доминирующим фактором становятся касательные силы на поверхностях катания колес, величина которых зависит от угла перекоса θ

Изменение величины N'_2 в круговой кривой характеризуется графиком (рис. 5)

Существенным для процесса разворота тележки в рельсовой колее круговой кривой является то, что угловая скорость перекоса $\dot{\theta}_{кр}$, при $t_{кр} \approx 1,8$ с, становится равной нулю. А это значит что, процесс перекашивания тележки, после достижения некоторого угла перекоса, заканчивается (заканчивается относительное движение тележки) и дальнейшее движение тележки в круговой кривой происходит при сохранении этого угла, а по-

ворот тележки вокруг вертикальной оси происходит с переносной угловой скоростью $\omega = \frac{\dot{S}}{\rho}$.

Анализировалось влияние параметров поездной работы и норм содержания пути на изменение величины N'_2 , а следовательно, и на критерий износа. В процессе анализа производилось варьирование следующими вели-

чинами: скоростью движения, тяговой нагрузкой на колесной паре, возвышением наружного рельса, шириной колеи. На основании результатов расчета был сделан вывод, что существенного снижения величин сил нормального давления гребней набегающих колес на рельс, за счет изменения указанных величин, не наблюдается. В частности, при увеличении ширины рельсовой колеи в круговой кривой (с 1525 мм до 1545 мм) величина N'_2 уменьшается на 7%.

Для оценки влияния радиуса кривой и длины переходной кривой на уровень сил взаимодействия были выполнены расчеты для различных радиусов и длин переходных кривых. Сделан вывод, что величина N'_2 существенно увеличивается с уменьшением радиуса кривой менее 500 м, а при уменьшении длины переходной кривой в реальных пределах сила давления гребня уменьшается незначительно.

Кроме того, установлено, что существенно уменьшить величину силы давления гребня на рельс N'_2 можно за счет уменьшения угла перекоса тележки. Если специально созданным устройством создать момент сил, препятствующий перекашиванию тележки, то давление на рельс гребня набегающего колеса будет минимальным.

Наиболее просто в эксплуатации реализовать изменение разворачивающего момента в переходной кривой по линейному закону

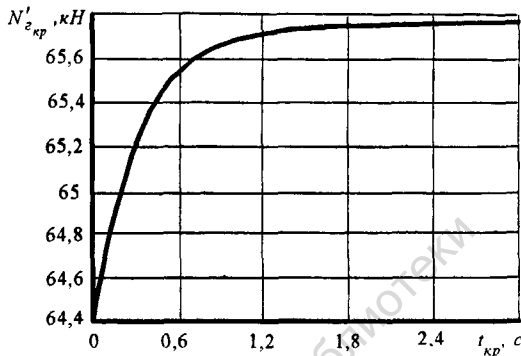


Рис. 5. Изменение величины $N'_{2кр}$ в круговой кривой

$$M_{pk} = \frac{m_p}{L_{nk}} S_k,$$

где m_p – величина момента, создаваемого механизмом принудительного разворота, в конце переходной кривой, L_{nk} – длина переходной кривой; S_k – дуговая координата центра масс k -й тележки.

Величину разворачивающего момента m_p предлагается определять из условия равенства нулю правой части дифференциального уравнения, характеризующего изменение угла перекоса тележки на втором этапе движения по переходной кривой:

$$C_4 \cdot t_2 + C_5 \cdot t_2^2 + C_6 = 0$$

Здесь в коэффициенты C_4 , C_5 , C_6 входит разворачивающий момент m_p . Подставляя в данное выражение численные значения исходных данных и решая уравнение относительно m_p , получим значение разворачивающего момента в конце переходной кривой, которое составляет 98 кНм. Но при таком значении разворачивающего момента угол перекоса тележки в переходной кривой в некоторые моменты становится отрицательным. Для обеспечения безотрывного движения гребня набегающего колеса величина разворачивающего момента была откорректирована в сторону уменьшения таким образом, чтобы при обеспечении положительности угла перекоса тележки значение величины силы давления гребня на рельс было минимальным.

Указанное условие выполняется при величине $m_p = 87$ кНм. Это значение принято в качестве расчетной величины m_p для исходных данных, представленных выше.

При реализации этой величины изменение силы нормального давления гребня на рельс N'_2 в переходной кривой будет характеризоваться графиком (рис. 6).

Анализируя графики (рис. 4 и 6), можно сделать вывод, что разворачивающим моментом, приложенным к тележке, можно существенно уменьшить силу нормального давления гребня на рельс (на 89,4 %).

Четвертая глава посвящена экспериментальной проверке результатов теоретических исследований движения тележек электровоза ЭП1 в переходных и круговых кривых малого радиуса

Разработана методика регистрации положения локомотивных тележек в рельсовой колее при помощи видеосъемки, приведены схемы установки

видеокамер на локомотиве и на верхнем строении пути. Эксперимент проводился в два этапа. На первом этапе определялось положение тележки локомотива в процессе движения в кривых участках пути, на втором – регистрировалось расположение всех колесных пар в фиксированной точке рельсовой колеи.

Для проведения опытных поездок на первом этапе использовались два электровоза ЭП1 № 011 и 012, из которых был сформирован опытный сцеп. Опытные поездки производились от ст. Амур до ст. Хабаровск-1 и обратно. На перегоне имелось две кривых радиусом 323 м и 287 м, с длинами переходных кривых 80 м.

Представлены (рис. 7) совмещенные стоп-кадры, соответствующие началу входа первой колесной пары в переходную кривую длиной 80 м при скорости опытного сцепа 30 км/ч, из которого следует, что гребни колес не имеют контакта с боковой поверхностью головки рельса. Спустя две секунды от момента входа в переходную кривую происходит прижа-

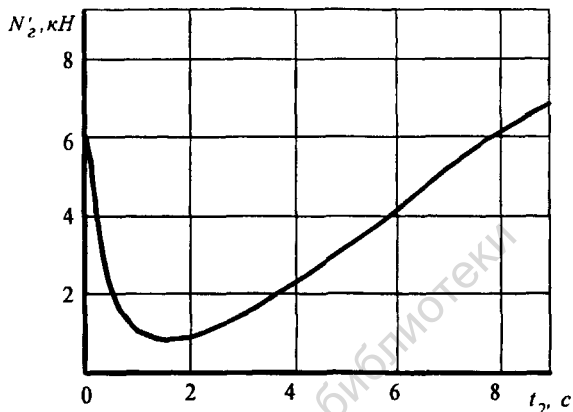


Рис. 6 Зависимость силы N'_2 при действии разворачивающего момента

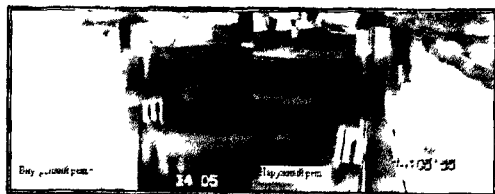


Рис. 7. Начало входа в переходную кривую



Рис 8 Момент касания гребнем наружного рельса переходной кривой

тие гребня набегающего колеса к наружному рельсу (рис 8) Время от момента входа до момента касания гребнем наружного рельса контролировалось по таймеру видеокамеры

Видеокамеры, при измерениях на втором этапе, устанавливались стационарно на балластной призме земляного полотна.

Проход опытного сечения первой и второй колесными парами при скорости 10 км/ч показан совмещенными стоп-кадрами (рис. 9 и 10) Положение тележки в круговой кривой определялось по величинам выступов колес за наружные грани головок рельсов.

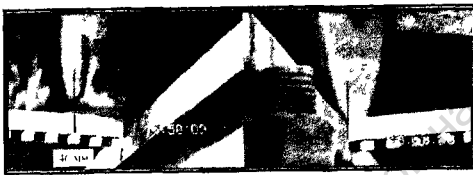


Рис 9 Первая колесная пара первой тележки электровоза ЭП 1

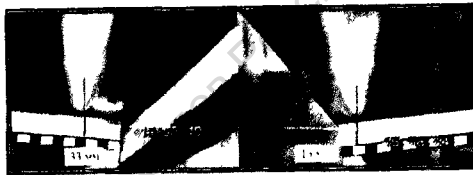


Рис. 10. Вторая колесная пара первой тележки электровоза ЭП 1

переходную кривую длиной 80 м со скоростью 30 км/ч направляющая колесная пара первой тележки спустя 2 секунды от начала движения по переходной кривой прижимается к наружному рельсу

2 После прижатия к рельсу гребня набегающего колеса обратного отхода его от рельса не происходит на протяжении всей кривой

Разработанная методика регистрации положения локомотивных тележек в рельсовой колее с помощью видеокамер позволила экспериментально подтвердить адекватность математической модели реально происходящему процессу вписывания электровоза в кривые Экспериментальным путем получение подтверждение выводов теоретических исследований В частности установлено

1 При входе электровоза ЭП1 в

3. При движении по переходной кривой угол перекоса тележки плавно растёт, не достигая максимального

4. В круговых кривых тележки электровозов находятся в перекошенном положении, близком к максимальному. Величина и характер разворота тележек соответствуют результатам, полученным с помощью математической модели.

В пятой главе представлена техническая сущность устройства для автоматического управления тележками, рассмотрена его работа. На предлагаемое устройство подана заявка о выдаче патента Российской Федерации на изобретение (№ 2000130022/(031895) Дата приоритета 30.11.2000 г.)

В шестой главе выполнена оценка экономической эффективности устройства управления тележками. Основными показателями приняты интегральный экономический эффект и срок окупаемости затрат по разработке и оборудованию. В качестве прибыли взята экономия годовых эксплуатационных расходов, полученная в результате снижения износа гребней колесных пар и рельсов. В составе единовременных затрат учитывались расходы, связанные с проведением НИР, а так же расходы на оборудование электровозов предлагаемым устройством.

Интегральный экономический эффект на 13 электровозов ЭП1 составил 33 млн 700 тыс рублей за 13 лет. Срок окупаемости – 5,8 лет. Индекс доходности – 2,68. Внутренняя норма доходности – 39,5 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Комплекс исследований, выполненный в соответствии с поставленной целью, позволил оценить влияние различных факторов на интенсивность бокового износа гребней локомотивных колес электровоза ЭП1 в кривых малого радиуса и дать практические рекомендации по путям ее уменьшения.

В результате исследования получено следующее:

1. Создана математическая модель движения тележек электровоза ЭП1 в кривых, позволяющая получить закономерности изменения угла перекоса локомотивной тележки и сил нормального давления гребней колес на рельс, в зависимости от параметров кривой, параметров упругого проскальзывания колес, массовых и динамических пара-

метров электровоза Математическая модель реализована в виде программы для ЭВМ с использованием системы математического программирования Maple VI

2 Теоретически установлено и экспериментально подтверждено, что тележки электровоза ЭП1 при входе в переходную кривую на первых метрах пути прижимаются гребнем набегающего колеса к наружному рельсу

3 Установлено, что после прижатия к рельсу гребня набегающего колеса обратного отхода его от рельса не происходит на протяжении всей переходной кривой, а угол перекоса тележки плавно увеличивается, не достигая максимального значения, определяемого базой тележки и шириной рельсовой колеи Тележки в круговой кривой движутся в перекошенном положении с постоянным углом перекоса.

4 Установлено, что сила нормального давления гребня на рельс увеличивается с увеличением угла перекоса тележки Доминирующим фактором, определяющим величину силы нормального давления гребня колеса на рельс, являются дополнительные составляющие касательных сил на поверхностях катания колес, возникающие в процессе перекашивания тележек

5 Установлено, что переход на передачу тягового усилия от тележек к кузову секции локомотива посредством наклонных тяг несущественно сказывается на процесс перекоса тележки и на силу давления гребня на рельс

6 Установлено, что варьирование скоростью, возвышением наружного рельса, шириной рельсовой колеи, тяговой нагрузкой не приводит к существенному изменению силы нормального давления гребня колеса на рельс.

7 Интенсивный рост величины силы давления гребня на рельс отмечается при уменьшении радиуса кривой ниже 500 м, поэтому кривые радиусом менее 500 м нельзя рекомендовать для основных направлений железных дорог.

8 Для существенного уменьшения интенсивности износа гребней колес электровоза ЭП1 при прохождении кривых необходимо между кузовом секции и рамой каждой тележки установить разворачивающее устройство с определенным законом изменения момента пары сил, действующей на тележку.

9 Разработано устройство для снижения интенсивности износа гребней колес и рельсов, предусматривающее удержание тележек в хордовом положении за счет управления величиной момента сил в механизме принудительного разворота. Доказано, что при определенных условиях можно полностью исключить перекося тележек локомотива и обеспечить близкие к нулю значения силы нормального давления гребня колеса на рельс.

10 Предложенная методика регистрации положения локомотивных тележек в рельсовой колее при помощи видеокамер позволила подтвердить адекватность математической модели реально происходящему процессу вписывания электровоза в переходные и круговые кривые малого радиуса.

11 Выполненная оценка экономической эффективности показала, что при внедрении предлагаемого устройства интегральный экономический эффект за срок эксплуатации электровозов составит 33 млн 700 тыс. рублей (на 13 электровозов в ценах 2000 г.), срок окупаемости – 5,8 лет, индекс доходности – 2,68, внутренняя норма доходности – 39,5 %.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

- 1 Стецюк А Е Исследование причин износа локомотивных колес А Е Стецюк, В В Трофимович // Тезисы докладов научной конференции – Хабаровск ДВГУПС, 1998 – С 30
- 2 Стецюк А Е Снижение интенсивности износа колесных пар и рельсов А Е Стецюк, В В Трофимович // Актуальные проблемы развития железнодорожного транспорта и роль молодых ученых в ее решении. Материалы отраслевой научно-технической конференции, посвященной 70-летию РГУПС – Ростов-на-Дону, 1998. – С 21
- 3 Стецюк А Е Снижение интенсивности износа гребней колесных пар и рельсов А Е Стецюк, В В Трофимович // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. Тезисы докладов Первой международной научной конференции творческой молодежи -Хабаровск ДВГУПС, 1999 С 80

- 4 Трофимович В В О выборе рациональных схем системы принудительного разворота тележек // Повышение эффективности эксплуатации подвижного состава и путевой техники в Дальневосточном регионе Сб науч тр /Под ред Ю П Федосеева – Хабаровск Изд-во ДВГУПС, 1999 – С 64 -70.
- 5 Доронин С В Влияние радиуса кривой на силу нормального давления гребня колеса на рельс С В Доронин, А Е Стецюк, В В Трофимович // Повышение эффективности эксплуатации подвижного состава и путевой техники в Дальневосточном регионе Сб науч тр / Под ред Ю П Федосеева – Хабаровск Изд-во ДВГУПС, 1999 – С 70 – 73
- 6 Трофимович В В Об изменении угла между продольными осями кузова и тележек локомотива при движении по переходным кривым // Повышение эффективности работы железнодорожного транспорта Сибири и Дальнего Востока. Материалы научно–техн конф. – Т. 2. / Под ред. С М. Гончарука. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 1999. – С. 120.
- 7 Andrey E Stetsuk, Vitaly V Trofimovich Decreasing of intensity of wheel pairs wear for tractive rolling stock // Young people & scientific–technical progress. Materials of the third international student’s congress of the Asian Pacific Region countries. Vladivostok, Russia FESTU publishing house 1999 – p 201 – part I
- 8 Доронин В И Исследование движения 2–осных локомотивных тележек при входе в переходную кривую В И Доронин, В.В Трофимович // Научно-технические и экономические проблемы транспорта Материалы 58–й науч конф творческой молодежи, 12-14 апреля 2000 г -Хабаровск: ДВГУПС, 2000 – Т 1 – С 47 – 49
- 9 Доронин В И Исследование процесса перекашивания двухосных локомотивных тележек в переходных кривых В И Доронин, В В Трофимович // Актуальные проблемы Транссиба на рубеже веков Труды всероссийской науч.–техн конф. (Чита, 11–12 июля 2000 г) в 4-х т – Т 4 / Под ред. С. М Гончарука – Хабаровск. Изд-во ДВГУПС, 2000 – 172 С. 20 – 25.

- 10 Трофимович В В Динамика вписывания 2-осных локомотивных тележек в переходные кривые // Наука – Хабаровскому краю Материалы II краевого конкурса работ молодых ученых и аспирантов. – Владивосток, Хабаровск ДВО РАН, 2000 – С. 49 – 60
- 11 Доронин В И. Динамика перекашивания тележек электровоза ВЛ85 в переходных кривых В И Доронин, В В Трофимович // Фундаментальные и прикладные исследования транспорту – 2000. Труды всероссийской науч-техн конф в 2-х т – Т 1 - Екатеринбург. УрГУПС, 2000. – С 224.
- 12 Доронин В И Теоретическое и экспериментальное исследование движения двухосных локомотивных тележек в переходных и круговых кривых В И Доронин, С В Доронин, В В Трофимович // Новые технологии – железнодорожному транспорту Сб науч статей в четырех частях (с международным участием) Ч 1. – Омск: ОмГУПС, 2000 С. 269 – 273.
- 13 Трофимович В В Экспериментальные исследования условий вписывания в кривые новых серийных электровозов в условиях Дальневосточной железной дороги // Наука – Хабаровскому краю Материалы III краевого конкурса работ молодых ученых и аспирантов – Владивосток; Хабаровск ДВО РАН, 2001 – С 39 – 50.
- 14 Трофимович В В Экспериментальные исследования движения локомотивных тележек в переходных и круговых кривых малого радиуса методом видеосъемки // Научно – техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. Труды II Международной научной конференции творческой молодежи, 11-12 апреля 2001 г – Хабаровск Изд-во ДВГУПС, 2001. – Т 2. – С. 5-9

РНБ Русский фонд

2003-4

16826

12.05.2001

Трофимович Виталий Владимирович

**ОСОБЕННОСТИ ДВИЖЕНИЯ ТЕЛЕЖЕК ЭЛЕКТРОВОЗА ЭП1
В КРИВЫХ МАЛОГО РАДИУСА И ПРОБЛЕМА СНИЖЕНИЯ
БОКОВОГО ИЗНОСА ГРЕБНЕЙ КОЛЕС**

05 22 07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация

План 2001 г. Поз. 7.40

Редактор А.А. Иванова. Технический редактор Н В. Мильштейн.

ИД № 05247 от 2.07.2001 г. ПЛД № 79-19 от 19.01.2000 г.

Подписано в печать 28.09.2001. Печать офсетная.

Бумага тип. № 2. Формат 60x84/16.

Печ. л. 1,4. Зак. 211. Тираж 100 экз.

Издательство ДВГУПС

680021, г. Хабаровск, ул. Серышева, 47.