

УДК 629.4.083:629.45

А.Н.КУЗНЕЦОВ, А.И.РУБАНЕНКО, кандидаты техн. наук,  
Б.В.СТОЯНЕНКО

*Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А.Н.Бекетова*

## **ТЕМПЕРАТУРНАЯ АНИЗОТРОПИЯ ТЕПЛОВОГО ПОЛЯ В ЗОНЕ КОНТАКТА КОЛЕСА И ПОЛЗУНА КОЛЕСНЫХ ПАР РЕЛЬСОВЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В ДВИЖЕНИИ**

Освещаются вопросы контроля дефектов, возникающих на поверхности катания колесных пар подвижного состава электрического транспорта в период эксплуатации.

Висвітлюються питання контролю дефектів, що виникають на поверхні катання колісних пар рухомого складу електричного транспорту в період експлуатації.

In the article the issues diagnostics of defects arising in wheel pairs on surface of a rolling stock of railway transport within the operation period are elucidated.

*Ключевые слова:* колесная пара, короткие неровности, ползун, динамические нагрузки, звуковые волны, звуковое давление, акустика, возмущения давления, местные деформации, тепловое поле, температурные волны, уравнение теплопроводности.

Работа подвижного состава электрического транспорта в системе «колесо-рельс» связана со значительным износом обоих компонентов. Возникающие при этом дефекты колесных пар подвижного состава являются чрезвычайно острой проблемой [1,2]. В результате появляется угроза безопасности движения поездов и огромные расходы на ликвидацию последствий в случае аварии. Острота данной проблемы растет по мере увеличения срока службы рельсов и колесных пар, в условиях возрастания скоростей движения подвижного состава электрического транспорта, повышения требований к качеству и безопасности перевозок. В этих условиях чрезвычайно актуальной становится задача мониторинга технического состояния колесных пар вагонов в движении [2].

В ходе эксплуатации колесная пара подвергается воздействию статических и динамических нагрузок, в результате которых возникают многочисленные дефекты, ухудшается геометрия колеса, прочностные качества материала и состояние поверхности катания, растут напряжения, снижаются плавность хода и уровень безопасности движения. Изучение и диагностирование дефектов колесных пар, возникающих в процессе срока службы, должны помочь предупредить их появление и способствовать повышению эффективности и качества перевозочного процесса.

Основными неисправностями колесных пар являются прокат колес и так называемые короткие неровности: ползуны, выщербины и навары [3]. В данной статье рассматриваются некоторые вопросы мо-

ниторинга такого дефекта как ползун, представляющего собой несимметричность колес рельсовых транспортных средств относительно оси вращения.

Появление на бандаже колеса плоского участка – ползуна является следствием движения юзом, что приводит к истиранию заблокированных колес в месте их соприкосновения с рельсом. Ряд исследований [4] такого дефекта колесной пары вагона подвижного состава, как ползун, подтвердили динамический характер воздействия его на рельсы, который при неблагоприятных условиях может привести к разрушению деталей ходовой части подвижного состава и верхнего строения пути, и как следствие, к сходу вагона с пути, что недопустимо. Поэтому важно предупредить аварию и диагностировать дефект еще на ранней стадии закатывания.

При качении колеса колесной пары, имеющего ползун на поверхности катания, возникают динамические (ударные) нагрузки, которые инициируют колебания неподрессоренных частей вагона (колесных пар) и элементов колеи и могут быть обнаружены бесконтактными (акустическими) методами контроля [2] ввиду того, что колеблющиеся поверхности излучают звуковые волны, которые создают суммарное звуковое давление. Доминирующей поверхностью в процессе звукоизлучения является колесный диск [5]

Общей особенностью взаимодействия рельса с колесами, имеющими короткие неровности, является также выделение тепловой энергии в локализованных зонах контактов, приводящее к аномалиям в температурных полях колес и в зонах, их окружающих. Это взаимодействие представляет собой удар [6], сила которого достигает больших величин и вызывает значительные местные деформации на контакте ползун-рельс. При ударном взаимодействии ползуна с рельсом энергия удара трансформируется в тепло. Температурный режим колеса при таком виде взаимодействия носит сложный характер, так как включает в себя процессы формирования пограничного теплового слоя, процессы распространения тепла от внешних слоев колеса к внутренним, а также теплоотток в окружающую среду. Регистрация теплооттока с помощью автоматических диагностико-информационных систем (АДИС) является актуальной, так как позволяет распознавать ползуны в движении на ранних этапах их закатывания, что приводит к увеличению срока службы подвижного состава в целом.

Распространение звуковой волны от этого удара сопровождается изменением температуры. Температура увеличивается в тех областях, где среда подвергается адиабатическому сжатию, и уменьшается в областях адиабатического разрежения. Процесс распространения звука

можно считать адиабатическим, если за время, равное периоду звуковой волны, тепло не успеет диффундировать на расстояния порядка длины волны. Иными словами, длина температурной волны  $\lambda$  (масштаб диффузии, соответствующий частоте  $f$ ) должна быть малой по сравнению с длиной акустической волны

$$\lambda_m = c / f,$$

где  $c = \omega/k$  – скорость звука;  $\omega$  – угловая частота для данной волны;  $k = 2\pi/\lambda_m$  – волновое число;  $f = \omega/2\pi$  – частота колебаний.

Длина температурной волны  $\lambda_m = 2 \sqrt{\pi\chi/f}$  – находится из урав-

нения теплопроводности

$$\partial T / \partial t = \chi \partial^2 T / \partial x^2, \quad T(x=0, t) = T_0 e^{-i\omega t},$$

решение которого при  $x > 0$  имеет вид

$$T = T_0 \exp(-kx) \exp(-i\omega t + ikx),$$

где  $\chi$  – коэффициент теплопроводности.

Условие адиабатичности  $\lambda > \lambda_m$  будет выполнено для

$$f < c^2 / (4\pi\chi).$$

Оценки показывают, что последнее неравенство хорошо выполняется в жидкостях и газах вплоть до очень высоких частот. Так, в воздухе (числовые значения параметров  $\chi = 2,8 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$ ,  $c = 330 \text{ м/с}$ ) звук распространяется адиабатически при частотах  $f = 10^{12} \text{ Гц}$ .

Если в воздухе при температуре  $27^\circ\text{C}$  и нормальном атмосферном давлении распространяется звуковая волна, уровень интенсивности которой равен  $B = 150 \text{ дБ}$  (сильный звук, вызывающий боль в ушах), и необходимо определить температуру в месте максимального давления и амплитуду ее колебаний, а также как изменится эта величина, если мощность волны уменьшится в 10 раз, то для этого находим давление  $p$ , соответствующее данному уровню интенсивности

$$B = 20 \lg(p/p_{cm}),$$

где  $p_{cm}$  – стандартное нулевое давление при нормальных атмосферных условиях ( $p_{cm} = 2,04 \cdot 10^{-4} \text{ дин/см}^2 = 2,04 \cdot 10^{-5} \text{ Па}$ );  $p$  – амплитуда давления.

Отсюда находим  $p' = 645 \text{ Па}$ . Далее используем уравнение адиабаты для температуры

$$T_2 = T_1(p_2/p_1)^{(\gamma-1)/\gamma},$$

где  $\gamma = c_p/c_v = 1,4$ .

Подставляя  $p_1 = p_0 = 1,01 \cdot 10^5 \text{ Па}$ ,  $p_2 = p' + p_0$  и учитывая, что  $p' \ll p_0$ , имеем

$$T_2 = T_1 (1 + (\gamma - 1) p' / \gamma p_0), \text{ т.е. } \Delta T = T_1 (\gamma - 1) p' / \gamma p_0.$$

Подставляя  $T_1 = 300\text{K}$ , получаем  $\Delta T = 0,55\text{K}$ .

При уменьшении мощности волны в 10 раз ( давления в 3,16 раза)  
 $\Delta T = 0,17K$ .

Таким образом, ударное взаимодействие колеса с ползуном и рельса приводит к температурной (тепловой) анизотропии температурного поля в зоне контакта колеса и ползуна. Зная температуру воздуха окружающей среды и уровень интенсивности давления акустической звуковой волны, можно определить температуру в месте максимального давления и амплитуду колебаний волны, являющейся следствием взаимодействия колеса с ползуном и рельса, что позволит посредством автоматических диагностико-информационных систем (АДИС) на основе инфракрасной термографии диагностировать образование ползуна в движении еще на начальном этапе его закатывания.

Изучение и диагностирование дефектов колесных пар, возникающих в течение срока службы, должны помочь предупредить их появление и способствовать повышению эффективности и качества перевозочного процесса.

1. Інструкція з огляду, обстеження, ремонту та формування вагонних колісних пар [Текст]: ЦВ-ЦЛ-0062. – затв. «Укрзалізниця» 01.04.05. – вид. офіц. – К.: ТОВ «НВП Поліграфсервіс», 2006. – 102 с.

2. Образцов, В.Л. Автоматизация технической диагностики колес при движении поезда [Текст] / В.Л. Образцов, В.П. Малышев. – М.: Транспорт, 1978. – 48с.

3. Кривошеев, В.Н. Анализ неровностей на поверхностях катания колес, выявленных методом силового контроля [Текст] // Исследование неровностей колес пассажирских вагонов: сб. науч. трудов ВНИИЖТ – М.: Транспорт, 1979. – Вып. № 608. – С. 60-74.

4. Кудрявцев, Н.Н. Оценка эксплуатационной нагруженности колесных пар пассажирских вагонов инерционными силами и их нормирование [Текст] / Н.Н. Кудрявцев, Б.В. Бакланов // Исследование неровностей колес пассажирских вагонов: сб. науч. трудов ВНИИЖТ. – М.: Транспорт, 1979. – Вып. № 608. – С. 88-101.

5. Кудрявцев, Н.Н. Влияние коротких неровностей колес и рельсов на динамические силы и ускорения ходовых частей вагонов [Текст] / Н.Н. Кудрявцев, В.Н. Белоусов, В.М. Сасковец // Влияние неровностей поверхностей катания колес на работу ходовых частей пассажирских вагонов: сб. науч. трудов ВНИИЖТ – М.: Транспорт, 1981. – Вып. № 610. – С. 4-22.

6. Вериго, М.Ф. Взаимодействие пути и подвижного состава [Текст] / М.Ф. Вериго, А.Я. Коган – М.: Транспорт, 1986. – 559 с.

*Получено 17.10.2013*