

В результате исследования разработана модель перераспределения контактных нагрузок между контактами гребня колеса с элементами стрелочного перевода: рамной рейкой и остряком. На основе учета отклонений от номинальных параметров стрелочного перевода и динамических процессов совершенствована модель стрелочного перевода.

#### Список литературы

- 1 Інструкція з формування, ремонту й утримання колісних пар тягового рухомого складу залізниць України колії 1520 мм // ВНД 32.0.07.001.2001. Міністерство транспорту України. – Донецьк : ТОВ «Лебідь», 2001. – № 305-Ц. – 152 с.
- 2 Наказ Укрзалізниці № 598-Ц від 18.12.2007 «Про внесення зміни №2 до ВНД 32.0.07.001-2001». – Київ : М-во транспорту України, 2007. – 3 с.
- 3 Сапронова, С. Ю. Оптимізація профілів бандажів коліс локомотивів : [моногр.] / С. Ю. Сапронова. – Луганськ : Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2011. – 171 с.

УДК 629.4.023.018

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНТАКТНОГО ИЗНОСА КОЛЕСНОЙ ПАРЫ ТЕПЛОВОЗА ТЭП70БС

Ш. С. ФАЙЗИБАЕВ, Г. А. ХРОМОВА, Э. А. ЖУМАБАЕВ

*Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта, Узбекистан*

В докладе рассматривается автоматизированное моделирование процесса контактного износа колесной пары локомотива (в виде примера был взят тепловоз ТЭП70БС) на базе разработанной нами математической модели по оптимизации взаимодействия пути и подвижного состава.

Трение играет главную роль в процессах взаимодействия колеса и рельса, особенно в процессах сцепления, торможения, изнашивания, контактно-усталостных повреждений, образования ползунов, вписывания, виляния локомотива, вползания колеса на рельс, ведущего к сходам, возникновению визга колес при движении в кривых.

Меры по обеспечению нормальных износов можно разделить на металловедческие, связанные с лубрикацией, профилями колес и рельсов, уменьшением относительного проскальзывания за счёт улучшения состояния тележек и пути. В целом эти меры сводятся к следующему [1]: применять рельсовые стали, имеющие твёрдость в диапазоне 340–388 НВ и мелкодисперсную перлитную структуру; применять колесные стали с тем же содержанием углерода, легированием и примерной твёрдостью, что и рельсовые стали; осуществлять лубрикацию боковой поверхности головки рельса; применять и поддерживать выбранные типы профилей рельса для кривых и прямых участков пути – предпочтительны конформные профили рельсов для кривых, снижающих контактное давление и интенсивность изнашивания; устанавливать оптимальный зазор в колее и допуски на зазор в зависимости от условий работы данного участка железной дороги, содержать путь в соответствии с нормами; снижать угол набегания колеса на рельс.

Предлагаемая нами математическая модель учитывает взаимосвязь фрикционно-механической подсистемы «колесо – рельс», представленной в виде сосредоточенных масс, объединенных упруго-диссипативными связями:

$$M \frac{d^2 X}{dt^2} + h \frac{dX}{dt} + cX = F(X, \frac{dX}{dt}) + F^*(t) + U(t), \quad (1)$$

где  $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}^T$  – вектор состояния системы;  $F(X, \frac{dX}{dt})$  – вектор-функция, раскрывающая зависимость сил контактного взаимодействия от координат состояния;  $F^*(t)$  – вектор воздействия внешних динамических сил;  $M, h, c$  – матрицы размерности  $N \times N$  соответственно обобщенных масс, коэффициентов демпфирования и жесткости;  $U(t)$  – вектор управления и внешнего воздействия, который во многих случаях формируется в координатах состояния, т.е.  $U(t) = U[X(t)]$ . Одна из связей  $F(X, \frac{dX}{dt})$  характеризует динамическую связь, формируемую в зоне фрикционного кон-

такта. Она представлена в виде нелинейных вектор-функций, раскрывающих зависимость сил контактного взаимодействия при относительных движениях двух фрикционных поверхностей. Свойства вектор-функций, характеризующих нелинейную фрикционную связь «колеса и рельс», следующие:

1 При медленном сближении контактируемых поверхностей при заданной скорости относительного сближения увеличиваются нормальная и тангенциальная составляющие сил. Эти функции можно назвать функциями сближения. Если рассматривать только зависимость нормальной составляющей от смещений контактируемых поверхностей в нормальном направлении, то получим характеристики, которые принято называть «контактной жесткостью». Если сближение поверхностей постоянно, то ему соответствуют постоянные значения нормальной и тангенциальной составляющих сил контактного взаимодействия. Отношение этих сил, как известно, представляет собой постоянное значение коэффициента трения. Известно, что коэффициент трения при прочих неизменных условиях зависит от нормального давления, а непосредственно от нормального давления зависит сближение контактируемых поверхностей. В том случае, когда конфигурация контактируемых поверхностей представляет собой плоскость, смещение контактируемых поверхностей в тангенциальном направлении не вызывает силовых реакций. Очевидно, что функция сближения определяет интегральную характеристику переходной зоны от одного контактируемого тела к другому. Свойства этой переходной зоны зависят от шероховатости этой поверхности и свойств среды, формируемой в этой области, т.е. от третьего тела (наличия смазки, загрязнителей, атмосферных осадков и т.п.).

2 Вариации нормальной и тангенциальной составляющих сил вызывают в зависимости от частотного диапазона различные реакции тангенциальных составляющих силы. При этом всегда имеет место фазовый сдвиг между тангенциальной и нормальной составляющими силы контактного взаимодействия. Это свидетельствует о том, что закономерности формирования сил контактного взаимодействия фрикционной подсистемы «колесо – рельс» являются существенно нелинейными и зависят не только от частоты, но и от амплитуды периодических сближений.

В результате нами разработана математическая модель для исследования процесса совместных вертикальных колебаний механической системы «колесо – рельс» с учетом жесткостных и массовых параметров, а также возникающих динамических сил контактного фрикционного взаимодействия в узле трения «колесо – рельс», возникающих при движении локомотива по пути с периодической стыковой неровностью (в виде расчетного примера был взят тепловоз ТЭП70БС) [2].

#### Список литературы

1 Guidelines to Best Practice for Heavy Haul Railway Operations: Wheel and Rail Interface Issues / W. Harris [et al.]; International Heavy Haul Association. – Virginia Beach, USA, 2001. – 481 p.

2 Файзибаев, Ш. С. Оптимизация работы колеса и рельса путем снижения контактных напряжений при динамическом взаимодействии колесных пар подвижного состава : [моногр] / Ш. С. Файзибаев, Г. А. Хромова. – Ташкент : Fan va texnologiya, 2015. – 180 с.

УДК 629.4.014

## КОМБИНИРОВАННЫЕ ГРУЗОВЫЕ ВАГОНЫ

И. Н. ФОКИН, А. Е. ФОМИН, А. А. ГОРШКОВ

ООО «Сегула Технолджис Раша»

С. Л. САМОШКИН

ЗАО НО «Тверской институт вагоностроения», Российская Федерация

подавляющую часть всех грузов в России, включая экспортные, составляют сырье, топливо, металл, строительные материалы.

Грузовые вагоны не приспособлены к их перевозке, что приводит к большим порожним пробегам в условиях сырьевой экономики, к низкой скорости движения поездов, перегруженности инфраструктуры, уменьшению провозной способности железных дорог. В результате – высокая стоимость перевозки грузов, низкая прибыль перевозочных компаний, большие сроки окупаемости вагонов для владельцев вагонов и их изготовителей.