

УДК 629.4.067.3

Дмитрий Николаевич Салтыков, кандидат технических наук, ассистент кафедры вагонов Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург,
Валентин Леонидович Образцов, главный технолог ООО «Инфотэкс АТ»

ОЦЕНКА ДИНАМИКИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОЛЕС С ДЕФЕКТАМИ ПОВЕРХНОСТИ КАТАНИЯ И РЕЛЬСОВ

Dmitry N. Saltykov, PhD in Engineering, Assistant, Cars Chair of USURT, Ekaterinburg,
Valentin L. Obratsov, Chief Process Engineer, LLC Infotex AT

Assessing The Dynamics Of Interaction Between Wheels With Tread Surface Defects And Rails

Аннотация

Выбор порогов тревожной сигнализации для напольных систем контроля дефектов поверхности катания колес подвижного состава требует учета таких факторов, как вид дефекта, тип пути, осевая нагрузка, время года, скорость движения и т. д. Для решения этой задачи было использовано многовариантное имитационное моделирование. В статье приведены результаты теоретических исследований контактного взаимодействия колес подвижного состава с различными дефектами поверхности катания и рельса на упруго-вязком основании. Полученные показатели динамики рельса оцениваются с точки зрения возможности их применения в качестве контрольных параметров для напольных систем контроля.

Ключевые слова: колесная пара, рельс, неравномерный прокат, ползун, навар, моделирование, виброметрия.

Abstract

Selection of alarm thresholds for floor-mounted systems of rolling stock wheel tread surface defect inspection requires consideration of the following factors: defect type, track type, axial load, season, travel speed etc. This problem was solved by multivariant simulation modelling. The article gives the results of theoretical research into contact interaction between rolling stock wheels, having various tread surface defects, and the rail on a viscoelastic base. The calculated rail performance indicators are assessed from the viewpoint of their applicability as reference parameters for floor-mounted inspection systems.

Keywords: wheel set, rail, non-uniform rolling, slide, weld deposition, modelling, vibrometry.

Существует целый класс напольных устройств, предназначенных для выявления дефектных колесных пар с повышенной динамикой воздействия колес на рельсы. В данных устройствах используются различные методы контроля колес. Наиболее распространенными являются силовой (тензометрический), виброметрический и вибросиловой методы. У каждого из них есть свои достоинства и недостатки, в том числе технико-эксплуатационного и экономического характера, однако главная сложность их практического применения заключается в задании точных критериев браковки колес. При одинаковых размерах неровностей силовое воздействие колес на рельсы определяется нагрузкой на ось, скоростью движения поезда и жесткостью пути. Таким образом, численные значения параметров настройки порогов тревожной сигнализации должны устанавливаться в зависимости от местных условий с учетом характеристики верхнего строения пути, реализуемых на участках контроля скоростей движения поездов и типа подвижного состава. Необходимо комплексно, принимая во внимание все перечисленные условия, проанализировать параметры динамики контактного взаимодействия «колесо — рельс», используемые в силовых и виброметрических методах, на предмет их эффективности в качестве параметров контроля.

Для исследования динамики взаимодействия «колесо — рельс» с учетом вариаций осевых нагрузок, упруго-динамических параметров пути, дефектов и скоростей колеса было применено имитационное моделирование с использованием аналитической программной среды (АПС) синтеза уравнений движения «Универсальный механизм» (БГТУ, Брянск) (рис. 1 и 2).

Необрессоренные части вагона представлены вертикальной силовой системой из трех абсолютно твердых тел; путь — рельс как упругое тело на подшпальном основании в виде упруго-вязких опор. Для моделирования рельса использован модуль UM FEM, позволяющий применять для описания упругих тел конечно-элементные модели.

Известно, что на динамику взаимодействия пути и подвижного состава наибольшее влияние оказывают масса необрессоренных частей тележки, масса и жесткость пути, ско-

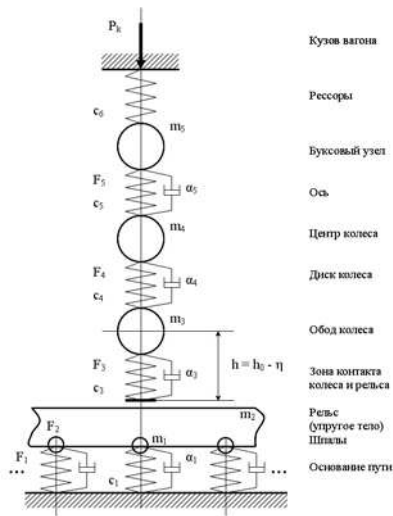


Рисунок 1 — Расчетная схема динамической системы «колесо с дефектом — рельсовый путь»

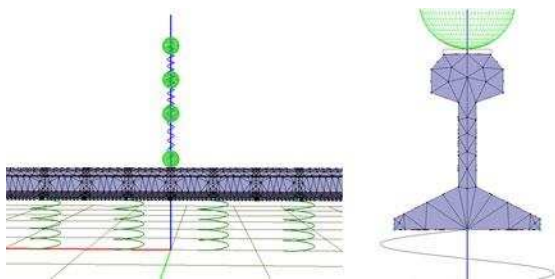


Рисунок 2 — Визуализация модели в АПС «Универсальный механизм»

рость движения поезда и геометрические характеристики неровностей колес. Для оценки потенциальных возможностей силового и виброметрического методов диагностики колес и выбора признаков распознавания исправных и неисправных колес рассматривалось несколько вариантов, отличавшихся друг от друга параметрами расчетной схемы. Значения основных параметров приведены в табл. 1.

Жесткость C_1 и коэффициент вязкого трения α_1 пути зависят от многих факторов: типа рельсов и шпал, эпюры шпал, толщины балластного слоя и вида балласта, времени года и т. д.

Изучением упруго-диссипативных свойств пути и элементов стрелочных переводов занимались многие авторы. Комплексного исследования параметров пути до настоящего времени не проводилось, имеются лишь разрозненные данные, определенные при различных конструкциях пути, скоростях движения и сезонных условиях. Данный пробел позволяют заполнить эмпирические формулы расчетных упруго-диссипативных параметров пути, полученных на основе обработки данных цикла экспериментальных работ [1].

На основе предложенных авторами эмпирических формул были получены зависимости жесткости и коэффициента вязкого трения подпального основания от скорости (v , м/с) подвижного состава.

«Мягкий путь» (лето, Р65, деревянные шпалы, щебеночный балласт):

Таблица 1 — Параметры расчетной схемы

Параметры	Пассажирский	Грузовой порожний	Грузовой груженный
Статическая нагрузка на буксу, кН	80	30	116
Масса (приведенная) буксы m_b , кг	360	360	360
- ступицы колеса с частью оси и диска m_d , кг	520	520	520
- обода колеса с частью диска m_z , кг	50	50	50
- рельса m_r (6,5 м Р65), кг	425	425	425
- половины шпалы m_1 («мягкий путь»), кг	35	35	35
- половины шпалы m_1 («жесткий путь»), кг	125	125	125
Жесткость рессорного комплекта $C_{\text{р}}$, кН/м	2300	2300	2300
- оси C_s , кН/м	$2 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^5$
- диска колеса C_d , кН/м	$5 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^5$
- зоны контакта C_z , кН/м	$7,5 \cdot 10^5$	$7,5 \cdot 10^5$	$7,5 \cdot 10^5$
Коэффициент вязкого трения в шейке оси α_s , кНс/м	100	100	100
- в диске α_d , кНс/м	100	100	100
- в зоне контакта α_z , кНс/м	100	100	100

$C_1(v) = 625 \cdot v + 35926.5$, кН/м (для $v = 60$ км/ч $C_1 = 4,6 \cdot 10^7$ Н/м);
 $\alpha_1(v) = -6 \cdot v^2 + 857 \cdot v + 101425$, Нс/м (для $v = 60$ км/ч $\alpha_1 = 228 \cdot 10^3$ Н·с/м).

«Жесткий путь» (зима, Р65, железобетонные шпалы, щебеночный балласт):

$C_1(v) = 602 \cdot v + 142807$, кН/м (для $v = 60$ км/ч $C_1 = 15 \cdot 10^7$ Н/м);
 $\alpha_1(v) = -11 \cdot v^2 + 690 \cdot v + 302497$, Нс/м (для $v = 60$ км/ч $\alpha_1 = 622 \cdot 10^3$ Н·с/м).

В качестве возмущающих неровностей были приняты: — для неравномерного проката

$$\eta = \frac{h}{2} \left[1 - \cos \left(\frac{2\pi}{L} Vt \right) \right],$$

где h — глубина (высота) неровности;
 L — длина неровности;
 V — скорость движения, м/с;
 — для ползуна

$$\eta = \frac{h}{2} \left[1 - \cos \left(\frac{2\pi}{L} Vt \right) \right],$$

где $L = \sqrt{8Rh}$;
 R — радиус колеса по кругу катания;
 — для наваара

$$\eta = -h \sin \left(\frac{2\pi}{L} Vt \right).$$

Время t равно периоду одного колебания. Для ползуна и неравномерного проката в качестве возмущающей неровности задавался цикл из одного колебания, для наваара — цикл из пяти повторяющихся колебаний. Глубина (высота) h неровности — 1 и 2 мм. Длина неровности при неравномерном прокате 0,5 м. Скорость движения поезда изменялась от 5,5 до 44,4 м/с (от 20 до 160 км/ч).

Далее строились графики функций исследуемых величин в принятом диапазоне скоростей движения поезда в зависимо-

сти от вида неровности, статической нагрузки, жесткости пути и других переменных параметров.

Из результатов расчетов (рис. 3 — 5) видно, что виброперемещения рельса как диагностирующий параметр можно использовать для выявления наваров при скорости движения до 100 км/ч и для неравномерного проката на скорости более 40 км/ч. Точность выявления дефектов можно повысить путем коррекции порогов в зависимости от осевых нагрузок (для навара) и жесткости пути (для неравномерного проката).

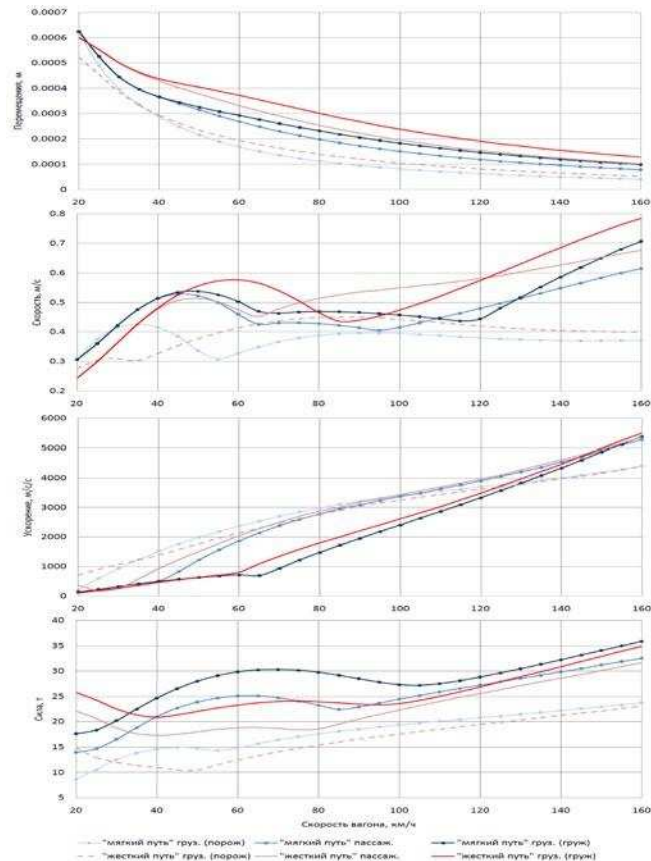


Рисунок 3 — Максимальные вертикальные перемещения, скорости, ускорения рельса под колесом и сила контактного взаимодействия «колесо — рельс» (ползун, $h = 1$ мм)

Порог скорости виброперемещений рельса 0,4 м/с позволяет выявить ползуны глубиной 1 мм у пассажирских и груженых грузовых вагонов на скорости свыше 40 км/ч; порог 0,33 м/с — ползуны порожних грузовых вагонов на скорости свыше 60 км/ч, т. е. в данном случае также требуется коррекция порогов в зависимости от осевых нагрузок. Порог скорости виброперемещений рельса 0,35 м/с позволяет выявлять навары независимо от жесткости пути и осевой нагрузки начиная с 30 км/ч.

Скорость виброперемещений рельса под колесом с неравномерным прокатом находится практически в линейной зависимости от скорости движения колеса, но имеет по сравнению со скоростями виброперемещений при других дефектах более низкие значения.

Для ползунов и наваров при скорости колеса более 50 км/ч наблюдаются ускорения виброперемещений свыше

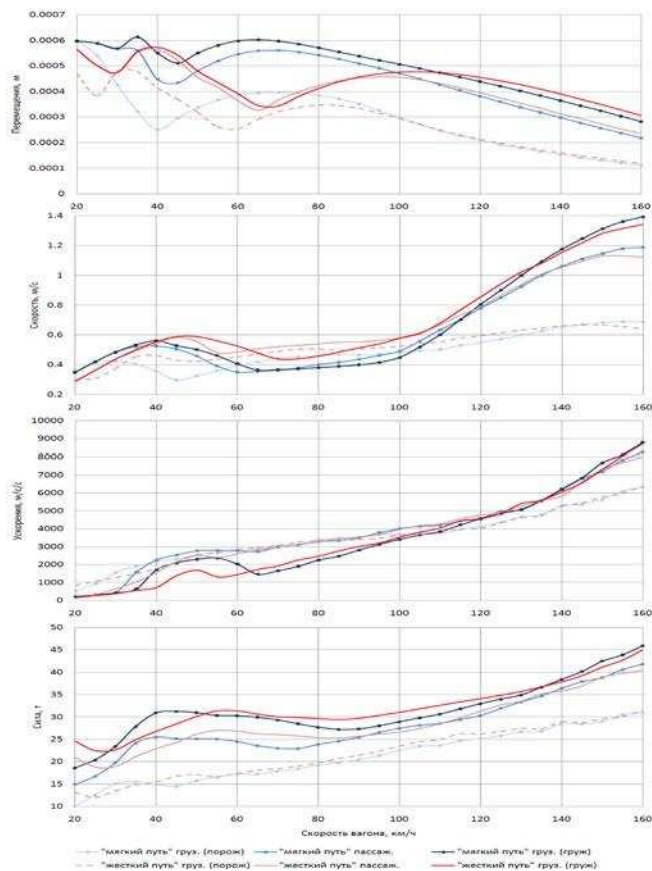


Рисунок 4 — Максимальные вертикальные перемещения, скорости, ускорения рельса под колесом и сила контактного взаимодействия «колесо — рельс» (навар 5x50 мм, $h = 1$ мм)

60g, которые далее растут почти линейно. Ускорения рельса от неравномерного проката колеса сильно зависят от скорости колеса, жесткости пути, осевой нагрузки и не превышают 140g.

Динамика сила контактного взаимодействия «колесо — рельс» при одних и тех же осевых нагрузках и типе пути определяется длиной неровности, т. е. видом дефекта поверхности катания колеса.

На основании анализа полученных результатов можно сделать следующие выводы.

1. Виброускорения и виброперемещения рельса, а также сила контактного взаимодействия «колесо — рельс» не являются самостоятельными и универсальными параметрами контроля дефектов колеса. Установление порогов тревожной сигнализации по этим параметрам потребует коррекции либо по величине осевой нагрузки (при селективном контроле отдельных видов дефектов), либо по длине неровности.

2. Характер изменения скорости виброперемещений рельса под колесами с различными видами дефектов позволяет сделать вывод о возможности установления общего порога тревожной сигнализации для ползунов, наваров и неравномерного проката. При этом дополнительная коррекция порогов сигнализации за счет учета осевой нагрузки поможет дополнительно повысить качество контроля.

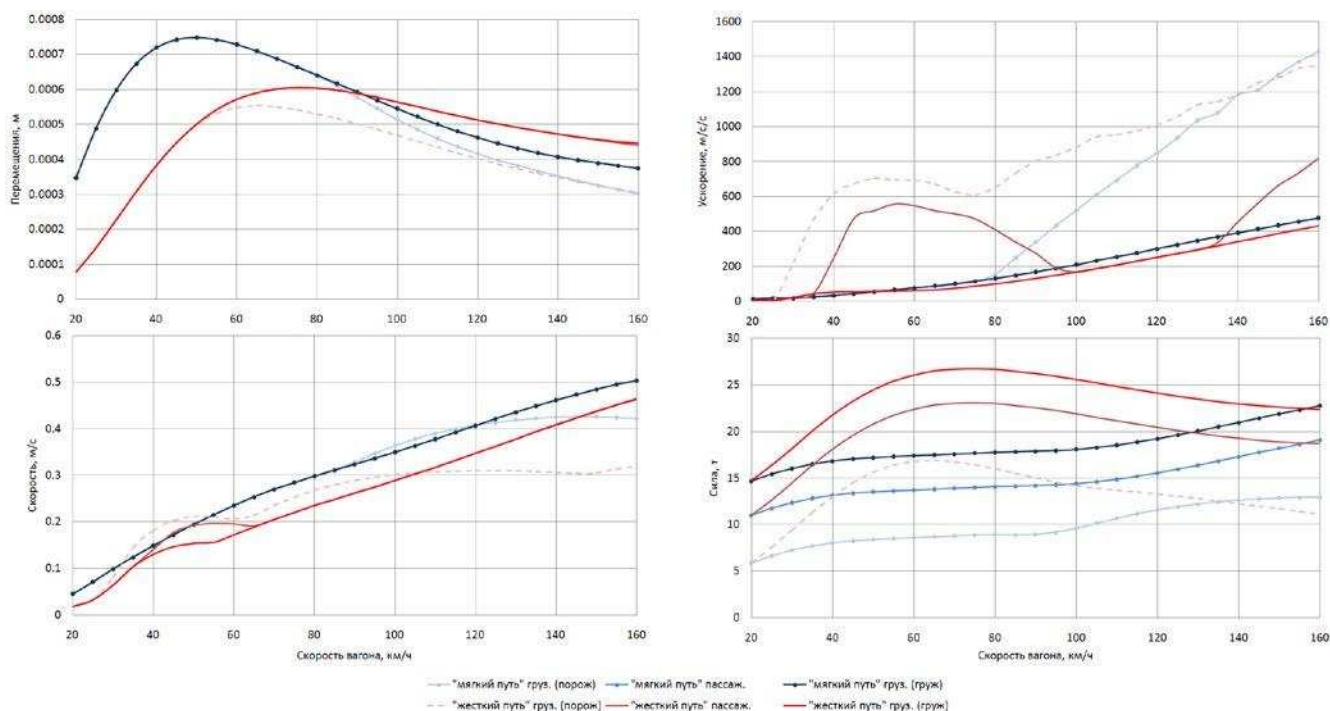


Рисунок 5 — Максимальные вертикальные перемещения, скорости, ускорения рельса под колесом и сила контактного взаимодействия «колесо — рельс» (неравномерный прокат 250 мм, $h = 1$ мм)

Литература

1. Семенов И.И., Поletaев В.И. Влияние конструктивных и эксплуатационных особенностей пути и экипажей на упруго-динамические характеристики рельсошпальной решетки в вертикальной плоскости // Труды ЛИИЖТ. 1969. Вып. 289.

References

1. I.I. Semyonov, V.I. Poletayev. Vliyanie konstruktivnykh i ekspluatatsionnykh osobennostey puti i ekipazhey na uprugodinamicheskie kharakteristiki relso-shpalnoy reshetki v vertikalnoy ploskosti [The impact of structural and operating peculiarities of track and carriages on elastic/dynamic characteristics of the rodding in the vertical plane] // Tr. LIIZhTa. 1969. Вып. 289.