

ной с учетом особенностей конструкции рассматриваемого узла, применяется в процессах принятия и оптимизации управленческих решений.

Основной задачей предиктивной аналитики оборудования при решении данной комплексной оптимизационной задачи является определение степени влияния параметров работы оборудования друг на друга и выявление аномалий, дефектов и отказов исходя из анализа изменения значений этих параметров за имеющиеся периоды наблюдения. Эти закономерности выявляются путем построения модели предиктивного анализа по контролируемому объекту.

Разработанные специалистами «Clover Group» модели предиктивного анализа инженерно-технических объектов позволяют:

- определить релевантные параметры, характеризующие состояние конструктивных элементов оборудования;
- выявить тренды деградации, аномалии/дефекты и предотказные состояния на работающем оборудовании;
- спрогнозировать вероятность и время наступления отказа конструктивных элементов оборудования.

В настоящее время система способна находить более 50 видов нарушений в работе оборудования и режимах эксплуатации локомотивов. Так, по тепловозам серии 2,3ТЭ116У и ТЭП70БС(У) автоматически определяются нарушения режимов эксплуатации, связанные с неправильными действиями локомотивной бригады при запуске и остановке дизеля, работой локомотива под нагрузкой при температуре воды и масла ниже допуска, а также нарушения в работе оборудования. К их числу относятся: превышение температуры газов по цилиндрам, несоответствие значений мощности генератора и оборотов дизеля установленной позиции контроллера машиниста, выход значений давления и температуры масла за пределы допусков и т. п.

Модуль системы «Math» представляет собой комплекс математических алгоритмов, в котором могут использоваться как опенсорные библиотеки, так и собственные уравнения разработчиков, описывающие работу конкретного оборудования на основе имеющихся параметров телеметрии. Для снижения взаимной коррелированности используются модели, использующие разные подходы: лес случайных деревьев, бустинг и метод опорных векторов. Для оценки точности моделей данные делятся на обучающую и на тестовую выборки. Для данного разбиения также может использоваться метод случайного разбиения. Для оценки моделей используются методы: кросс-валидация; внутренняя кросс-валидация; стратифицированный сэплинг; матрица запутанности; матрица запутанности 2-го класса; кривые ROC (ReceiverOperatingCharacteristic); и др.

Приоритетными направлениями в ходе разработки комплекса оптимизационных моделей управления тяговыми ресурсами при переходе на полигонные технологии, которые способствуют повышению эффективности перевозочного процесса, являются:

- совершенствование и оптимизация технологий перевозочного процесса, а также устранение основных технологических потерь при эксплуатации;
- создание инновационных интеллектуальных управляющих систем диспетчерского аппарата;
- оптимизация структуры управления перевозками;
- ликвидация «барьерных» мест, сдерживающих темпы роста пропускной способности.

В части совершенствования и оптимизации эксплуатации тяговых ресурсов на полигоне железной дороги следует также предусмотреть выделение внутренних тяговых полигонов работы локомотивов с учетом соблюдения плана формирования и основных показателей выполнения местной работы на участках, а также оптимизацию участков обращения локомотивных бригад.

УДК 625.8

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛЗУНОВ КОЛЕСНЫХ ПАР ВАГОНОВ

*В. ПЕТРЕНКО*

*Вильнюсский технический университет им. Гедиминаса, Литовская Республика*

Безопасность, плавность хода, уровень комфорта и шума железнодорожного подвижного состава зависит от условий взаимодействия колес подвижного состава и рельсов. Общеизвестно, что наиболее опасные динамические условия создаются при наличии повреждений поверхности катания колес, которые непосредственно влияют на безопасность движения поездов. Динамическое поведение

поврежденных колесных пар позволяет моделировать различные программные комплексы, такие как Adams/Rail, VI-Rail, Ansys Rail (Etion), Vampire, SimulationX (ESI), Contact и др. В странах, имеющих колею 1520 мм, популярен программный комплекс Универсальный механизм (УМ), который имеет специализированные модули, для моделирования динамики железнодорожных экипажей, в том числе и с поврежденными колесными парами. В данной статье описываются экспериментальная проверка достоверности результатов моделирования в УМ колесных пар с ползунами.

Экспериментальная оценка воздействия колесных пар с ползунами проводилась для порожних и гружёных грузовых вагонов в летний и зимний периоды со скоростями движения от 30 до 80 км/ч. На вагонах были установлены колесные пары с различными дефектами: выщербины, неравномерный прокат и ползуны. Для измерения воздействия дефектов на путь была применена диагностическая система нового поколения ATLAS-LG, которая использует силовой метод выявления различных дефектов на поверхности катания колес железнодорожного подвижного состава. Результаты измерений были обработаны и проанализированы для каждой колесной пары. Например, уровень динамического воздействия колёсной пары с ползуном одного колеса 2 мм показан в 1 таблице. Значение вертикальных динамических сил зависит от скорости движения и жёсткости пути, но в данном конкретном случае заниженные результаты в зимний период произошли из-за завальцовывания ползуна.

Таблица 1 – Результаты измерений груженого грузового вагона

Скорость, км/ч	Значение вертикальной силы, кН							
	летом		зимой		летом		зимой	
	сред.	макс.	сред.	макс.	сред.	макс.	сред.	макс.
	А-Б направление				Б-А направление			
30	125	293	95	300	133	235	95	295
40	127	362	96	319	131	257	94	324
50	130	380	100	350	133	296	92	346
60	131	356	99	349	132	294	92	356
70	134	366	99	345	130	310	92	373
80	134	362	100	337	129	291	98	355

Для определения контактных сил между колесом и рельсом была создана компьютерная модель вышеописанного эксперимента. Моделирование производилось с помощью программного комплекса Универсальный механизм, предназначенного для моделирования динамики и кинематики различных механических систем [1]. Используя возможности УМ, была создана компьютерная модель 4-осного грузового вагона со стандартными двухосными тележками. Технические параметры вагона (профиль колес, зазоры в скользунах и пр.) отвечают стандартным требованиям основных нормативных документов, но на поверхности одной колесной пары был создан ползун 2 мм, состоящий из плоской части и деформированных частей, соединённых кубической параболой.

В серии числовых экспериментов, скорость вагона менялась ступенчато: 8,3; 11,1; 13,9; 16,7; 19,4 и 22,2 м/с, также эксперименты производились для пустых (24 т) и гружёных (84,5 т) вагонов. Результаты моделирования демонстрируют ударные нагрузки поврежденной колесной пары. Так, при скорости 22 м/с нормальные силы достигают 480 кН (рисунок 1, линия 1).

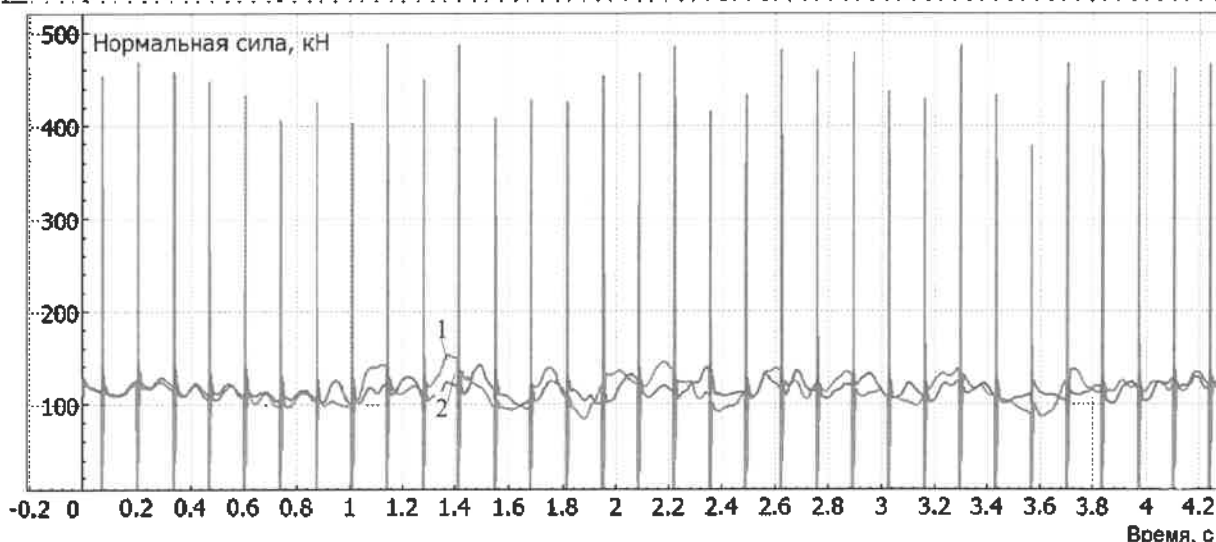


Рисунок 1 – Нормальные силы, возникающие на левых колесах первой тележки вагона (скорость 22 м/с)

После сбора и обработки анализа экспериментальных данных и результатов компьютерного моделирования, возможен сравнительный анализ полученных результатов. Уровень нормальных сил (рисунок 2) при проведении экспериментов для груженого грузового вагона с 2 мм ползуном на поверхности катания колесной пары (летние условия) зависит от направления движения, что можно объяснить погрешностью измерений между правым и левым рельсами и изменениями условий эксперимента (скорости движения вагона, изменение формы ползуна, жесткости пути). При скорости до 15 м/с результаты компьютерного моделирования совпадают с экспериментальными данными, но при более высоких скоростях нормальные контактные силы растут до 474 кН. Такое натуральное увеличение нормальных сил при повышении скорости движения совпадает с многочисленными результатами других исследований [2].

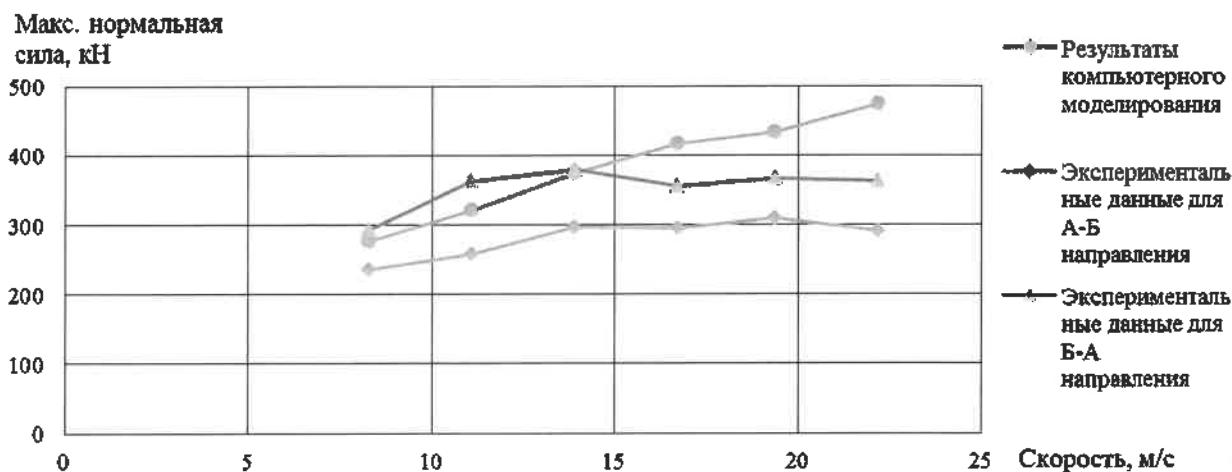


Рисунок 2 – Сравнение результатов компьютерного моделирования и результатов испытаний [3]

Значит, созданная параметрическая модель грузового вагона и заданные основные условия проведения компьютерного моделирования позволяют достаточно точно определить воздействие ползуна на рельсы. Также можно утверждать, что применение программного комплекса УМ позволяет получить относительно точные результаты контактных динамических сил между дефектным колесом и рельсом.

#### Список литературы

- 1 Laboratory of Computational Mechanics. Simulation of Rail Vehicle Dynamics Homepage [Elektronik resource]. – Mode of access : [http://www.universalmecanics.com/download/80/eng/08\\_um\\_loco.pdf](http://www.universalmecanics.com/download/80/eng/08_um_loco.pdf), last accessed 2018/12/21. – Date of access : 12.08.19.
- 2 Žyglėnė, R. Geležinkelio riedmenų ratų su pažaidomis ir bėgių sąveikos dinaminį procesų tyrimas / R. Žyglėnė. – Vilnius, 2015.

УДК 629.4.01

## СТЕНДОВЫЕ РЕСУРСНЫЕ ИСПЫТАНИЯ БЕЗЗАБОРНОГО СЦЕПНОГО УСТРОЙСТВА

**С. Ю. ПЕТУХОВ**

*ООО «Тихвинский испытательный центр железнодорожной техники», Российская Федерация*

**А. В. ЗАЙЦЕВ**

*ЗАО «Научная организация «Тверской институт вагоностроения», Российская Федерация*

**В. К. МИЛОВАНОВ**

*ООО «Транспортные технологии», г. Москва, Российская Федерация*

Беззазорное сцепное устройство (далее – БСУ) предназначено для использования в пассажирских вагонах и обеспечивает полную автоматическую выборку зазоров в контуре зацепления, не имеет зазоров в шарнирном узле и обеспечивает ряд преимуществ по сравнению с типовым автоцепным устройством СА-3: улучшает продольную динамику поезда, не требует применения буфе-