

по методике ГОСТ 21354-87. После проведения испытаний в течение 4 миллионов циклов разрушение зубьев шестерни отсутствовало, а трещин в области переходной кривой не обнаружено.

В 2019 году вступает в действие ГОСТ 34510–2018 «Колеса зубчатые тяговых передач тягового подвижного состава. Методы определения изгибной и контактной усталостной прочности», который дополнительно регламентирует контроль контактной прочности. В данном направлении нами развивается метод ускоренных испытаний малоразмерных моделей зубчатого зацепления в соответствии с государственным стандартом. С помощью метода получают результаты, удовлетворительно коррелирующие с результатами, полученными при соответствующих стендовых испытаниях. К основным достоинствам метода можно отнести минимальную стоимость и продолжительность испытаний, а также приемлемую для практики погрешность.

Считаем, что использование предлагаемой методики испытаний и технологической оснастки позволяет сократить длительность испытаний зубьев колес и затраты на реализацию таких испытаний.

УДК 629.4 : 620.178.3

### **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ СХЕМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА НАГРУЖЕНИЯ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ СОПРОТИВЛЕНИЯ УСТАЛОСТИ ВАГОНОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ХОДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ**

*В. В. КОМИССАРОВ, В. В. САЗОНОВ, П. М. БУЙЛЕНКОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Детали машин и элементы конструкций в процессе эксплуатации подвергаются переменным по величине и во времени нагрузкам, которые, как известно, приводят к усталостному разрушению – накоплению в металле под действием переменных нагрузок микрповреждений, возникновению усталостной трещины и окончательному разрушению. Наибольшее число усталостных разрушений связано с многоциклового усталостью. Число циклов переменных нагружений в этом случае составляет  $10^5$ – $10^8$ , а деформация металла во время каждого цикла является упругой. Потому на практике не удается оценить степень усталостного повреждения деталей в процессе эксплуатации и, следовательно, предупредить появление усталостных отказов.

Общепринято, что усталостная прочность несущих конструкций железнодорожных вагонов характеризуется коэффициентом запаса. При его значениях выше установленных норм (допускаемой величины) подразумевается, что в течение всего времени эксплуатации вагона возникновение усталостных трещин в металле принципиально невозможно. Выводы об усталостной прочности несущих конструкций железнодорожных вагонов в соответствии с действующими требованиями должны формироваться по результатам ходовых испытаний с непрерывным измерением действующих нагрузок (возникающих напряжений), а контролировать текущее усталостное повреждение деталей при эксплуатации возможно, если использовать соответствующие гипотезы суммирования повреждений.

При прогнозировании усталостной долговечности случайные процессы нагружения деталей заменяются некоторым схематизированным процессом (ГОСТ 25.101–83), который по уровню вносимого усталостного повреждения должен быть эквивалентен реальному. В настоящее время в Испытательном центре железнодорожного транспорта (ИЦ ЖТ БелГУТа) создается и активно используется компьютерная система обработки результатов ходовых испытаний. В рамках проводимой работы внедрены алгоритмы выделения полных циклов двухпараметрических методов схематизации: метод полных циклов и метод «дождя». Выбор данных методов обусловлен коэффициентом нерегулярности процесса нагружения: отношением числа пересечений процессом уровня средней нагрузки к числу экстремумов.

Перед применением каждого из методов осуществляют подготовку процесса нагружения. Сначала диапазон изменения нагрузок процесса разбивается равноотстоящими уровнями нагрузок на классы одинаковой ширины. Ширина класса отражает масштаб при схематизации и показывает, какая нагрузка соответствует одному классу. Затем выделяют экстремумы. Соседние экстремумы, образующие размах меньше ширины класса, выделению не подлежат. Далее применяют непосредственно сам метод схематизации.

Эмпирические функции распределения  $F_3$  и плотности распределения  $f_3$  для заданного участка (стрелка, скорость 10 км/ч) представлены на рисунке 1.

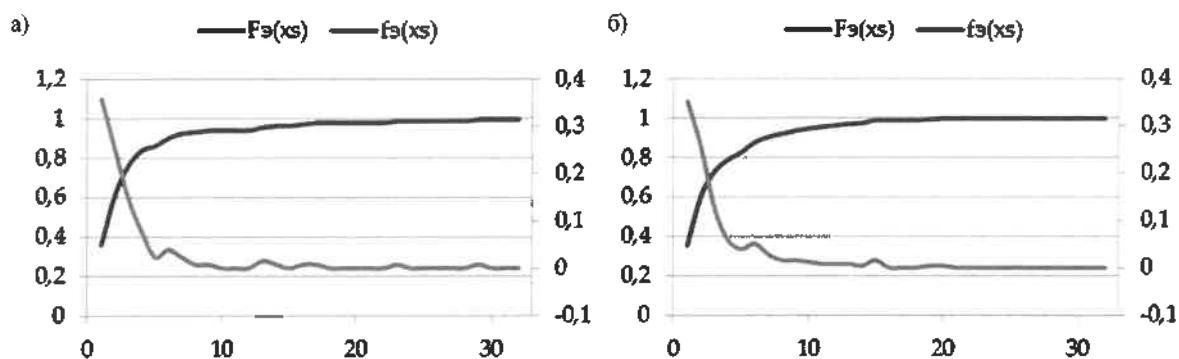


Рисунок 1 – Эмпирические функции распределения  $F_3$  и плотности распределения  $f_3$ :  
а – метод полных циклов; б – метод дождя

В конечном итоге планируется, что разрабатываемый программный продукт обеспечит синтез результатов всех испытаний вагонов с интегрированной обработкой процесса нагружения, его схематизацией и оценкой поврежденности.

УДК 629.4.01

### ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОДОШВЕ РЕЛЬСА ПО СИЛОВЫМ ФАКТОРАМ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ КОЛЕСА И РЕЛЬСА

А. И. КОНОВАЛОВ, А. В. БЕЛЯНКИН, Д. А. СЕРГЕЕВ, Д. Е. КУМПИЯК

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

Определение напряжений в подошве рельса при движении вагона по железнодорожному пути имеет важное значение для безопасности движения, потому что этот параметр характеризует прочность рельса при воздействии на него колеса. В настоящее время напряжения в подошве рельса, как правило, измеряются непосредственно тензорезисторами, что является затруднительным в связи с непростой подготовкой.

Для статических исследований в среде SolidWorks была создана твердотельная модель рельса, установленного на шпалах.

Если рассматривать рельс как балку на опорах, то напряжения, возникающие в подошве рельса в определенном сечении, сильно зависят от количества опор (шпал) в исследуемой системе, так как от этого зависит изгибающий момент, возникающий в рассматриваемом сечении. Поэтому в первую очередь было проведено исследование по зависимости напряжений в подошве рельса от количества шпал. К рельсу на шпалах прикладывались вертикальная и боковая сила. В каждом опыте менялось количество шпал, а величины сил оставались неизменными.

Анализ графиков зависимости напряжений в подошве рельса от количества шпал показал, что влияние количества шпал на напряжения в подошве рельса в исследуемом сечении пропадает примерно после десяти шпал. В количественном представлении, погрешность измерения напряжений при десяти шпалах становится менее 0,5 процента. Поэтому при дальнейших исследованиях использовалась модель рельса на десяти шпалах.

Была выбрана система координат, в середине рельса было смоделировано 63 датчика, измеряющих напряжения по оси  $z$ , в 21 сечении, расположенном между осями двух соседних средних шпал. Сечения располагались с одинаковым шагом, в каждом из них располагались датчики, измеряющие два кромочных напряжения и одно осевое.

Далее было выполнено исследование зависимости напряжений в подошве рельса от положения вертикальной силы. В сечении по центру рельса прилагалась вертикальная сила 125 кН со смещением 20 мм в обе стороны по оси  $x$ .

Исследование показало, что кромочные напряжения зависят нелинейно от смещения вертикальной силы в сечении, осевое напряжение не зависит от смещения вертикальной силы в сечении.

Далее к рельсу прилагалась вертикальная сила 125 кН со смещением вдоль рельса по оси  $z$ .

Исследование показало, что при перемещении вертикальной силы между шпалами кромочное напряжение, измеренное в сечении посередине пролёта, не является максимальным.

Затем к рельсу прикладывались совместно вертикальная сила и боковая. Величина вертикальной силы была постоянная и составляла 125 кН, величина боковой силы в разных опытах была различная.

Исследование показало, что кромочные напряжения зависят линейно от изменения величины боковой силы в сечении, осевое напряжение не зависит от изменения величины боковой силы в сечении.

На основании данных моделирования зависимостей напряжений от смещения вертикальной силы и от боковой силы с помощью поиска решения Excel были подобраны коэффициенты в формулах определения кромочного напряжения по смещению вертикальной силы и от величины боковой силы.

После была получена общая зависимость максимального кромочного напряжения от смещения вертикальной силы и величины боковой силы.

Далее была проведена проверка полученных выражений на модели. Также были произведены приложения сил с учётом одновременно двух факторов, влияющих на кромочные напряжения: смещение вертикальной силы, величина боковой силы. Кромочные напряжения были измерены смоделированными датчиками и рассчитаны полученными формулами.

Проверка показала, что напряжения, рассчитанные по полученным формулам, незначительно отличаются от измеренных непосредственно.

После этого были проведены исследования на реальном железнодорожном пути.

В итоге проделанной работы получены зависимости, которые помогут в вопросе определения напряжений в подошве рельса по силовым факторам, возникающим при взаимодействии колеса и рельса.

#### Список литературы

- 1 Анисимов, П. С. Испытания вагонов : [монография] / П. С. Анисимов. – М. : Маршрут, 2004. – 197 с.
- 2 Вериго, М. Ф. Динамика вагонов. Конспект лекций / М. Ф. Вериго. – М. : Типография ВЗИИТа, 1971. – 173 с.
- 3 Чернышев, М. А. Практические методы расчета пути / М. А. Чернышев. – М. : Транспорт, 1967. – 236 с.
- 4 Железнодорожный путь / Т. Г. Яковлева [и др.] ; под ред. Т. Г. Яковлевой. – М. : Транспорт, 1999. – 405 с.

УДК 625.03

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПУТЬ ПРИ СЕРТИФИКАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЯХ

*С. А. КОРИНЧУК, Н. Н. СУВАЛОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Во время проведения ходовых динамических испытаний железнодорожного подвижного состава колеи 1520 мм проводятся испытания по определению допустимых уровней показателей воздействия железнодорожного подвижного состава на путь и стрелочные переводы с целью определения фактических значений показателей воздействия железнодорожного подвижного состава на железнодорожный путь.

При проведении испытаний измеряются:

– вертикальная статическая нагрузка колесной пары единицы железнодорожного подвижного состава на рельсы: нагрузка единицы железнодорожного подвижного состава на рельсы, отнесенная к одной колесной паре, с учетом фактического расположения центра тяжести наддрессорного строения;

– боковая сила: проекция силы, воспринимаемой внутренней боковой поверхностью головки рельса от воздействия колеса единицы железнодорожного подвижного состава, на поперечную плоскость железнодорожного пути, проходящую через точку контакта колеса и головки рельса;

– комплексные динамические (ходовые) и по воздействию на железнодорожный путь и стрелочные переводы испытания (далее – комплексные испытания) – испытания железнодорожного подвижного состава, в процессе которых осуществляется одновременная (синхронизированная по времени проведе-