

шение характеристик прочности, накопление повреждений, связанные с износом узла, а также старение материала и сложности в процессе восстановления и ремонта отдельных элементов.

При прохождении колесной парой неровностей пути на буксовый узел действуют внешние нагрузки  $q$ . Они могут быть разными по происхождению и принимать случайные значения из некоторого пространства возможных внешних нагрузок  $Q$ . Изменение этих нагрузок во времени является случайным процессом. Стохастическое поведение буксового узла будем характеризовать элементами  $u$ , которые являются частными соответствующего пространства  $U$  возможных состояний, который избирается таким образом, чтобы с его помощью в рамках выбранной расчетной схемы полностью было описано состояние буксового узла.

Случайный характер поведения буксового узла обусловлен разбросом как собственных свойств, так и действующих нагрузок. При нормальной эксплуатации параметры, характеризующие функциональное состояние элементов буксового узла (параметры качества), должны находиться в установленных пределах в течение всего нормативного срока службы. Математически это соответствует нахождению элементов  $u$  в допустимой области  $\Omega$  пространства качества  $U$ . Выход случайного процесса  $v(t)$  функционирования буксового узла за пределы допустимой области  $\Omega$  приводит к его отказу.

В исходный момент времени (момент начала движения вагона) случайный процесс функционирования буксового узла с вероятностью, равной 1, будет находиться в допустимой области  $\Omega$ , то есть  $P(0) = 1$ . Выбросы из этой области на отрезке времени  $[0, t]$  – очень редкие события.

Количество выбросов случайного процесса  $v(t)$  на отрезке времени  $[0, t]$  есть случайная величина, которую обозначим  $N(t)$ . Математическое ожидание количества выбросов случайного процесса  $v(t)$  связано с интенсивностью отказов:

$$\bar{N}(t) = \Delta(t) \approx \int_0^t \lambda(t) dt,$$

где  $\lambda(t)$  – интенсивность отказов.

Поскольку буксовые подшипники относятся к высокотехнологичным изделиям и являются высоконадежными, возможно использование пуассоновского потока отказов. Тогда вероятность безотказной работы имеет вид  $P(t) = e^{-\lambda t}$ .

УДК 629.4.027

## **ОЦЕНКА ДИНАМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВАГОНА, ПОЛУЧЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ «ВАГОН – ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ПУТЬ»**

*И. Э. МАРТЫНОВ, А. В. ТРУФАНОВА, В. О. ШОВКУН*

*Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, г. Харьков*

Безопасность перевозок является приоритетным направлением деятельности железных дорог стран СНГ. Ее обеспечение зависит от слаженной работы всех структурных подразделений, но одним из важнейших факторов является надежная работа вагонов. Отказы элементов конструкции вагонов не только вызывают задержку доставки грузов потребителям через отцепки вагонов в пути следования, но и приводят к существенным дополнительным потерям для восстановления работоспособности.

Одними из самых важных элементов конструкции грузового вагона являются буксовые узлы с роликовыми подшипниками. Как показывает многолетний опыт эксплуатации парка грузовых вагонов, именно буксовые узлы за период 2005–2016 гг. повлекли 2339 случая отцепок вагонов в пути следования через чрезмерный нагрев. При этом ежегодно дополнительно приборами дистанционного контроля колесных пар и осмотрщиками вагонов по внешним признакам выявлено до 1000 случаев отказов буксовых узлов, которые создавали угрозу безопасности движения.

Обеспечение долговечности подшипника, работающего в условиях динамического радиального и осевой нагрузки, является достаточно сложной задачей. При расчете на прочность и надежность элементов конструкции БВ используются упрощенные схемы, которые не учитывают ряд действу-

ющих факторов. Так, эквивалентная нагрузка на подшипники состоит из статической и динамической нагрузок. Величина и характер приложения статической нагрузки изучены достаточно полно. Величина динамической нагрузки определяется как дополнение к статической нагрузке с помощью определенного эмпирического коэффициента.

Несовершенство существующих методов расчета привела к значительным погрешностям при определении показателей надежности буксовых подшипниковых узлов и разногласия с фактическими результатами эксплуатации.

Очевидно, что вопрос повышения надежности буксовых узлов является сложным и требует комплексного подхода для своего решения. Поэтому необходимо исследовать различные направления совершенствования существующих и создания новых конструкций буксового узла. Одной из задач для повышения показателей надежности является определение вероятностных нагрузок, действующих на элементы ходовых частей грузовых вагонов.

Для моделирования динамического процесса нагрузки буксового узла грузового вагона во время движения с различными скоростями использовался комплекс «УМ Универсальный механизм», разработанный Брянским государственным техническим университетом. Разработанная с помощью «УМ» имитационная модель «вагон – железнодорожный путь» включает в себя кузов полувагона с возможностью имитировать различную степень загруженности, тележки модели 18-100 с возможностью изменять их характеристики, а также модель упругого пути, позволяющая менять профиль и макрогеометрию пути.

Построение модели выполнялась путем объединения в модель подмодулей, которые несут в себе составные части модели: кузов, тележки, колесные пары и упругие пути. Все элементы модели связаны специальными связями и системой координат. Моделирование осуществлялось с использованием «s-образного» отрезка пути и стрелочным переводом. Для имитации макрогеометрии и неровностей пути использовался файл из библиотеки программного комплекса. При этом модель позволяет получить: коэффициенты динамических составляющих вертикальных сил, действующих на буксовый подшипниковый узел и на надрессорные балки тележки; горизонтальные (поперечные рамные) силы, действующие от колесной пары на боковые рамы тележки.

На следующем этапе работы проводилась математическая обработка полученных данных методами математической статистики. При этом определялись следующие параметры: величина математического ожидания, дисперсия, а также минимальные и максимальные значения усилий.

Результаты исследований свидетельствуют, что случайные процессы, которые характеризуют изменение коэффициентов вертикальной и горизонтальной динамики, распределены по нормальному закону.

В дальнейшем, используя полученные данные, вычислены корреляционные функции для случайных процессов, характеризующих совместное действие изменения коэффициентов вертикальной и горизонтальной динамики вагона. Построенные корреляционные функции позволяют дать оценку надежности буксового узла.

Моделирование динамических нагрузок, действующих на ходовые части грузовых вагонов, показало достаточную сходимость с результатами ходовых испытаний. Поэтому предложенная модель может быть использована для оценки возмущающих нагрузок при расчетах надежности буксовых узлов грузовых вагонов. Доказано, что этот процесс имеет стационарный эргодический характер. Полученные результаты моделирования подчиняются нормальному закону распределения. Определены основные параметры, характеризующие эти процессы в зависимости от скорости и режима движения.

УДК 629.46

## **СОЗДАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ ПОЛУВАГОНА В ИНЖЕНЕРНОМ ПАКЕТЕ MSC.ADAMS**

*Д. М. МАРЧЕНКО*

*Новозыбковский машиностроительный завод, Российская Федерация*

Инженерный пакет MSC.ADAMS – это современная CAE-система, которая позволяет выполнять динамическое моделирование работы объектов максимально приближенно к реальным усло-