

c – коэффициент демпфирования, d – глубина внедрения. Изменение приведенных параметров позволяет управлять характером контактного взаимодействия и приблизить его к физическим свойствам сыпучего тела.

Для каждой гранулы в общем случае можно записать динамические уравнения движения в виде

$$m_i \bar{a}_i = \bar{F}_i; \quad I_i \varepsilon_i = M_{O_i}(\bar{F}_i^{\tau}),$$

где m_i – масса i -й гранулы; \bar{a}_i – вектор ускорения центра масс i -й гранулы; \bar{F}_i – главный вектор сил, действующих на i -ю гранулу; I_i – момент инерции относительно оси, проходящей через центр масс i -й гранулы; ε_i – угловое ускорение относительно той же оси i -й гранулы; $M_{O_i}(\bar{F}_i^{\tau})$ – момент главного вектора касательных составляющих сил.

Главный вектор сил, действующих на i -ю гранулу,

$$\bar{F}_i = \sum \bar{F}_{\text{тp}i} + \sum \bar{N}_i + \sum \bar{F}_{\text{кi}} + \bar{G}_i,$$

где $\sum \bar{F}_{\text{тp}i}$ – силы трения i -й гранулы с соседними частицами; $\sum \bar{N}_i$ – нормальные силы взаимодействия i -й гранулы; $\sum \bar{F}_{\text{кi}}$ – нормальные и касательные силы в случае взаимодействия с кузовом вагона; \bar{G}_i – сила тяжести i -й гранулы.

Момент главного вектора касательных составляющих сил

$$M_i(\bar{F}_i^{\tau}) = \sum \bar{n}r_i \times \bar{F}_{\text{тp}i} + \sum \bar{n}r_i \times \bar{F}_{\text{кi}},$$

где \bar{n} – единичный вектор, направленный нормально к линии контакта; r_i – радиус гранулы; $\bar{F}_{\text{кi}}^{\tau}$ – сила трения в области контакта i -й гранулы с кузовом.

Решение поставленной задачи реализовано в программном комплексе ADAMS.

Анализ результатов динамической нагруженности торцевой стены гранулами груза показал, что максимальные нормальные силы возникают на некотором расстоянии от пола. В нашем случае это второй ряд гранул на высоте 0,6 м. Далее с последующим увеличением высоты максимальные значения нормальных сил уменьшаются. Экстремум нормальных сил, действующих на торцевую стену, становится более ярко выраженным с увеличением времени.

Зависимости нормальных сил, действующих на пол вагона, от времени показывают, что с удалением от нагруженной торцевой стены до расстояния $l = 2,2$ м максимальные нормальные силы возрастают, а затем снижаются. При рассмотрении нагруженности пола по длине кузова для различных временных срезов получены достаточно сложные зависимости, выраженная полиэкстремальность которых связана, по-видимому, с выдавливанием нижних гранул. В то же время зафиксировано, что наиболее нагруженная часть пола расположена в области $0 \leq l \leq 2,6$ м (в нашем случае отсчет идет от 0,2 м, что связано со степенью дискретизации модели). Силы, действующие на пол в других местах кузова, пренебрежимо малы.

Полученные результаты могут быть использованы при проведении прочностных расчетов кузовов вагонов.

УДК 629.463.004.67

ОБ ОЦЕНКЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ НА ГАРАНТИЙНОМ УЧАСТКЕ И ВЫБОРА ЕГО ПРОТЯЖЕННОСТИ

В. И. СЕНЬКО, Е. П. ГУРСКИЙ, Р. Р. КУРЫЛЛО
Белорусский государственный университет транспорта

Д. П. СОРОКИН
Белорусская железная дорога

Повышение безопасности движения поездов является на сегодняшний день важнейшей составляющей эффективной работы и развития железнодорожного транспорта. Решение проблемы безопасности во многом определяется состоянием вагонного парка и уровнем его технического обслуживания.

Одной из главных стратегических задач, стоящей перед вагонным хозяйством, является поддержание работоспособности парка грузовых вагонов за счет повышения качества их ремонта и содержания. На Белорусской железной дороге достаточно успешно выполняется программа восстановления работоспособности подвижного состава. И вместе с тем, анализ работы дороги показал, что надежность вагонного парка снижается, а размеры социально-экономических потерь от опасных отказов вагонов на гарантийных участках – существенные. Связано это, в первую очередь, с тем, что парк грузовых вагонов стареет. Средний возраст вагонного парка составляет 24 года, 41 % вагонов – с истекшим нормативным сроком службы. Одним из показателей, который наиболее полно отражает техническое состояние вагонов, является частота поступления в текущий отцепочный ремонт. За последние годы этот показатель увеличился более чем в 2 раза. Пополнение парка вагонов за счет новых вагонов в условиях ограниченности финансовых средств является весьма проблематичным. Поэтому основное внимание сегодня должно быть уделено организации эффективного обслуживания имеющегося парка грузовых вагонов.

Одним из главных мероприятий, направленных на повышение эксплуатационной надежности грузовых вагонов, является установление обоснованной протяженности гарантийных участков. Сегодня этот показатель на Белорусской железной дороге колеблется в достаточно больших границах. Обоснованная протяженность гарантийных участков снижает вероятность создания на транспорте опасных, аварийных ситуаций.

Для установления показателей эксплуатационной надежности на гарантийном участке Жлобин – Могилев исследована статистика работы ПТО этих двух станций за 2007–2008 гг. Проанализированы данные о количестве поездов, проследовавших по участку, среднем количестве вагонов в составах, длине гарантийного участка, а также о количестве отцепок грузовых вагонов по родам и узлам неисправностей. Определены и исследованы показатели, характеризующие эксплуатационную надежность грузовых вагонов, выполнен подбор закона распределения случайной величины наработки на отказ по узлам неисправностей и рассчитана оптимальная длина гарантийного участка по условию надежности грузовых вагонов на гарантийном участке Жлобин–Могилев. Установлено, что наиболее отказоопасным, а значит, самым затратным по содержанию и первостепенным по вниманию относительно безопасности движения и сохранности груза является полувагон – 58 %, далее минераловозы, зерновозы, цементовозы – 14 %. По интенсивности отцепок в текущий неплановый ремонт наиболее отказоопасным узлом является кузов (41 % от общего количества отказов – неисправности крышек люков, петли, запоров, трещины и обрывы сварных швов в заделках стоек, прогибы стоек и верхней обвязки, повреждения обшивки), далее следуют тормоз, тележка, автосцепное устройство, колесные пары (21 % – низкая надежность работы тормозной магистрали, рычажной передачи и воздухораспределителя, 15 % – интенсивный износ трущихся поверхностей рессорного подвешивания тележки, боковой и наддрессорной балки, 12 % – трещины изломы и разрывы литых деталей, износ и повреждения деталей механизма автосцепки, 11 % – буксовый узел, ползуны, навары, неравномерный прокат, износ гребней колесных пар).

Для расчета оптимальной протяженности гарантийного участка реализован вероятностный подход с учетом расчета квантилей случайной величины «наработки на отказ» для заданного уровня доверительной вероятности. Исходными данными для расчета являются вычисленные значения «наработки на отказ» по узлам неисправностей за двухлетний период:

$$T = \frac{Nml}{n_0}, \quad (1)$$

где N – число проследовавших по участку поездов за время t ; m – среднее число вагонов в поезде; l – длина гарантийного участка, км; n_0 – число отказов, возникших за суммарный пробег в течение времени t .

Статистический анализ результатов эксперимента в части исследования закона распределения случайной величины «наработка на отказ» по узлам неисправностей позволил получить квантили $T(V)_{\text{рас}}^i$ для доверительной вероятности $P(t)$ от 0,05 до 0,95 с шагом 0,05, а также значения оптимальной длины гарантийного участка $l_{\text{опт}}^i$ Жлобин – Могилев по условию надежности узлов – кузова, тормозов, тележки, автосцепного устройства, колесных пар:

$$l_{\text{опт}}^i = -T(V)_{\text{рас}}^i \ln P(t) / m. \quad (2)$$

Установлено, что наибольшей неопределенностью будет обладать протяженность гарантийного участка ($l_{\text{опт}} = 81$ км), полученная по эксплуатационной надежности кузова, а наименьшей – по надежности колесных пар ($l_{\text{опт}} = 98$ км). Учитывая, что в структуре парка вагонов, проходящих по гарантийному участку, более 40 % приходится на полувагоны, процессам ремонта и технического обслуживания кузова вагона необходимо уделять самое пристальное внимание.

Проведение исследований по каждому гарантийному участку полигона Белорусской железной дороги позволяют классифицировать участки с учетом возможных экономических потерь от отказов вагонов на них, а также усовершенствовать территориальную схему размещения пунктов технического обслуживания. Реализация этих мероприятий на практике позволит повысить безопасность движения на 6–9 %.

УДК 629.4.027.27

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ НАЗНАЧЕННОГО СРОКА СЛУЖБЫ ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ ТЕЛЕЖЕК ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

В. И. СЕНЬКО, И. Ф. ПАСТУХОВ, С. В. МАКЕЕВ, М. И. ПАСТУХОВ
Белорусский государственный университет транспорта

Срок службы тележек грузовых вагонов определяется назначенным сроком службы литых деталей (боковых рам и наддресорных балок). Литые детали модели 18-100 выполнены из конструкционных легированных сталей марок 20ГЛ, 20ФЛ, 20Г1ФЛ и 20ГТЛ (ГОСТ 977-88), назначенный срок службы которых 32 года (ОСТ 32.183.2001).

На текущий момент большинство грузовых вагонов также имеют назначенный срок службы 32 года. Но после капитального ремонта с продлением срока службы (КРП) он может быть доведен до 48 лет. Литые детали тележек после продления имеют предельный срок службы – 35 лет. Однако факты свидетельствуют о том, что потенциал литых деталей по несущей способности и ресурсу выше установленного конструкторской документацией. Диагностирование боковых рам и наддресорных балок тележек грузовых вагонов в России и на Белорусской железной дороге показывает, что вероятность выбраковки этих деталей по литейным дефектам и усталостным трещинам по нижнему поясу при плановых видах ремонта вагонов находится на уровне 0,0046, что ниже нормируемой величины 0,01. Возникает вопрос: а достаточно ли имеющегося потенциала по несущей способности литых деталей для работы до 45 лет, чтобы приблизить срок эксплуатации ходовых частей к предельному сроку службы вагона (48 лет)? Чтобы получить ответ на этот вопрос, нами были проведены расчетным методом исследования усталостной долговечности наддресорных балок тележек моделей 18-100 и 18-578.

В ходе исследований определялись напряжения в бесколоночных наддресорных балках тележек 18-100 и 18-578 (опытная) от статической нагрузки по двум сечениям: 1–1 – на расстоянии 10 мм от середины балки и 2–2 – по скользуно. По найденным статическим напряжениям согласно «Нормам для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных), 1996» определены коэффициенты вертикальной динамики для скоростей движения от 10 до 120 км/ч ($k_{дв}$), амплитуды динамических напряжений ($\sigma_{дн}$), предел выносливости балок, изготовленных из стали 20ФЛ, при вероятности неразрушения 0,95 ($\sigma_{0,95}$) и проектный срок службы (T_0). Расчетная статическая нагрузка для обеих балок принята 420 кН. Расчет выполнен методом конечных элементов с использованием объемных конечных элементов в программном комплексе Nastran.

Сравнение величин напряжений в обеих балках показывает, что в целом уровень напряжений в них одинаков. Однако в связи с трехточечным опиранием кузова на наддресорную балку тележки модели 18-578 происходит перераспределение напряжений в балке между сечениями 1–1 и 2–2. В балках (черт. 578.00.001-0) напряжения в сечении 1–1 снижаются по сравнению с балками (черт. 100.00.001-5) на 5 % (с 55 до 52 МПа), а в сечении 2–2 они на такую же величину возрастают (с 65 до 68 МПа). Однако динамические напряжения в опытных балках с упругими скользунами во всех сечениях снижаются на 13–15 % по сравнению с серийными, имеющими жесткие скользуны. Это способствует улучшению условий их эксплуатации и повышению технического ресурса и срока службы опытных балок в опасном втором сечении на 43 % (с 32,6 до 57,6 лет), что дает возможность увеличить назначенный срок службы их до 45 лет, приближая к предельному сроку службы вагона 48 лет. Результаты расчета приведены в таблице 1.

Полученные результаты касаются наддресорных балок в состоянии их поставок. Ранее проведенные исследования наддресорных балок, изготовленных из конструкционной нелегированной стали 20Л (ГОСТ 977), показали, что длительная их эксплуатация приводит к существенным изменениям механических и усталостных характеристик стали. При этом предел выносливости по амплитудным нагрузкам наддресорных балок (черт. 61.01.102-4) при вероятности неразрушения 0,95 после 30 лет эксплуатации повышается на 34,6 % (с 106 до 162,2 кН). Поэтому полученные расчетные значения прогнозируемого срока службы наддресорных балок целесообразно проверить экспериментально по параметру их предела выносливости через 32 года эксплуатации и дать окончательное заключение.