

По данным таблицы видно, что износ основных фондов грузовых вагонов инвентарного парка грузовых вагонов составил 78,8 %, а количество вагонов инвентарного парка дороги с истекшим нормативным сроком службы – 41,0 % от общего парка. На 31.12.2002 г. и на 01.08.2005 г. эти показатели составляли соответственно: 71,8 и 74,3, 27,9 и 39,7 %. При разделении вагонного парка средний возраст вагонов инвентарного парка был 15,3 года, на 01.07.2007 этот показатель составил 24 года. Следовательно, чтобы достичь начального среднего возраста необходимо вложение значительных инвестиций в обновление парка грузовых вагонов.

Рациональное, экономически выгодное решение задачи обновления и оздоровления вагонного парка невозможно без четкого обоснования перспективных потребных парков. Очевидно, что эта задача чрезвычайно сложна, и для ее решения нужен тщательный технико-эксплуатационный анализ и на его основе – прогноз потребности в грузовых вагонах.

Анализируя практические результаты формирования рабочего парка грузовых вагонов, можно утверждать, что они являются следствием воздействия многих факторов, как внешних, так и внутренних, определяющих его структуру и количественное состояние. В связи с этим одним из возможных методов прогнозирования является построение корреляционно-регрессионной модели оптимальной сложности, которое преследует две основные цели: установить главные факторы, влияющие на величину парка грузовых вагонов, и степень этого влияния. В ходе анализа мнений экспертов были выделены семнадцать наиболее важных показателей работы вагонных парков: грузооборот; участковая скорость; вес поезда; оборот вагона; среднесуточный пробег вагона; работа дороги и т. д. Авторские исследования позволили установить, что рациональной протяженностью ретроспективного ряда является длина 10–20 лет. За этот период, начиная с 1993 г., был собран аналитический материал. Для оценки адекватности модели, с учетом анализа статистических данных временных рядов, исходная информация была разбита на несколько выборок: 1994–1998, 1994–1999, 1994–2000, 1994–2001, 1994–2002, 1994–2003, 1994–2004 годы – контролирующие выборки и 1996–2005 годы – обучающая выборка. По ним анализируется сходимость расчетных значений рабочих парков и фактических, находящихся в пределах контролируемой выборки.

Авторами был разработан алгоритм формирования многофакторной модели, который после экспертной оценки и сбора статистических данных предусматривает:

- расчет коэффициентов корреляции между исследуемой величиной и факторами, а также факторов между собой;
- ранжирование факторов по коэффициенту корреляции;
- получение уравнения множественной регрессии, выраженного в стандартизованном виде;
- ранжирование факторов по величине стандартизованного коэффициента регрессии;
- ранжирование факторов по сумме баллов двух критериев;
- построение модели оптимальной сложности.

Сравнение полученных расчетных и фактических значений рабочего парка показывают высокую сходимость этих величин, что доказывает целесообразность применения таких моделей для прогнозирования парка грузовых вагонов. Выполненные исследования позволили получить расчетные значения парка грузовых вагонов за рассматриваемый период, а также прогнозные значения на период до 2012 года. Результаты исследований использованы службой перевозок Белорусской железной дороги при разработке бизнес-плана работы дороги на 2006–2010 гг.

УДК 629.4.027.2

ПРОГНОЗ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ ТЕЛЕЖЕК МОДЕЛИ 18–100 ТРЕТЬЕГО ПОКОЛЕНИЯ

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

Литые детали тележек модели 18–100 грузовых вагонов третьего поколения начали выпускать с 2001 г. из конструкционно-легированной стали 20ХГНФТЛ повышенной прочности. Ее механические характеристики: предел текучести $\sigma_T = 373$ МПа, предел прочности $\sigma_B = 540$ МПа; относи-

тельное удлинение $\delta = 20\%$; относительное сужение $\psi = 540 \text{ кДж/м}^2$. Усталостные характеристики данной стали по ОСТ 32.183-2001 отсутствуют.

Поскольку литые детали (боковые рамы и надрессорные балки) из стали 20ХГНФТЛ начали эксплуатироваться с 2001 г., то произвести оценку их остаточного ресурса экспериментальным путем представляется возможным из-за их малой продолжительности работы. Назначенный срок службы (35 лет) этих деталей начнет истекать только с 2036 г. Вместе с тем прогноз остаточного ресурса литых деталей нового поколения в первом приближении может быть сделан по механическим характеристикам на их начальном периоде эксплуатации.

Так, в соответствии с Нормами для расчета и проектирования вагонов железных дорог ... (М., 1996), среднее (медианное) значение предела выносливости материала стального литья может быть найдено по зависимости $\bar{\sigma}_{-1} = 0,45\sigma_B$. Для стали 20ХГНФТЛ $\bar{\sigma}_{-1} = 0,45 \cdot 540 = 243 \text{ МПа}$. Нами экспериментально установлено, что после выработки назначенного срока службы предел выносливости материала снижается на 9%. Тогда для рассматриваемой марки стали, ожидаемый предел выносливости после выработки деталию назначенного срока службы будет составлять $\bar{\sigma}_{-1t} = 0,91\bar{\sigma}_{-1} = 0,91 \cdot 243 = 221 \text{ МПа}$.

Среднее значение предела выносливости детали с учетом ожидаемого снижения предела выносливости образцов, изготовленных из деталей, выработавших назначенный срок службы,

$$\bar{\sigma}_{-1qt} = \frac{0,91\bar{\sigma}_{-1t}}{(\bar{K}_\sigma)_k}, \quad (1)$$

где $(\bar{K}_\sigma)_k$ – среднее значение общего коэффициента снижения предела выносливости данной натурной детали по отношению к пределу выносливости гладкого стандартного образца, определяемого по зависимости

$$(\bar{K}_\sigma)_k = \bar{K}_\sigma \frac{K_H K_Y}{K_\Pi K_{\text{пов}}}, \quad (2)$$

где \bar{K}_σ – эффективный коэффициент концентрации напряжений, учитывающий снижение сопротивления усталости в связи с местными изменениями формы и размеров детали; K_H – коэффициент неоднородности материала. Для отливок $K_H = 1,2$; K_Y – коэффициент влияния упрочняющей поверхности обработки детали. При отсутствии обработки $K_Y = 1,0$, однако при длительной эксплуатации деталей происходит их упрочнение и $K_Y = 0,8$; K_Π – коэффициент влияния размеров детали (масштабного фактора). Для боковых рам тележек $K_\Pi = 0,85$; $K_{\text{пов}}$ – коэффициент влияния качества поверхности детали, $K_{\text{пов}} = 0,8$.

Эффективный коэффициент концентрации напряжений определяется по зависимости

$$\bar{K}_\sigma = 1 + q(\alpha_B - 1), \quad (3)$$

где q – чувствительность материала к концентрации напряжений. Для низколегированных сталей $q = 0,7$; α_B – теоретический коэффициент концентрации напряжений. Для литых деталей $\alpha_B = 3,0$.

Величина $(\bar{K}_\sigma)_k$, найденная по формуле (2) для деталей после их длительной эксплуатации, будет меньше рекомендуемого ее значения для новых деталей на 25% и составляет 3,2–3,5. Тогда пределы выносливости боковых рам и надрессорных балок, найденные по зависимости (1) при вероятности неразрушения 0,5, составят соответственно 63 и 69 МПа, а при вероятности неразрушения 0,95–52,6 и 57,6 МПа. Величина предела выносливости детали при вероятности неразрушения 0,95

$$\sigma_{aNt} = \bar{\sigma}_{-1qt} (1 - Zv), \quad (4)$$

где Z – квантиль распределения, равная 1,645; v – коэффициент вариации предела выносливости, $v = 0,10$.

Прогнозируемый остаточный срок службы литых деталей третьего поколения определяется по зависимости

$$T_{\text{оп}} = \frac{\left(\frac{\sigma_{aNt}}{[n]} \right)^m N_0}{B f_3 \sum \sigma_{ai}^m P_{\sigma i}}, \quad (5)$$

где σ_{aNt} – предел выносливости (по амплитуде) натурной детали, отработавшей назначенный срок службы, при симметричном цикле и установившемся режиме нагружения на базе испытаний $N_0 = 10^7$ циклов, определяемый по зависимости (4); B – коэффициент перевода календарного расчетного срока службы детали в годах во время непрерывного движения в секундах; f_3 – центральная частота изменения эксплуатационных динамических напряжений, Гц; m – показатель степени кривой выносливости; σ_{ai} – уровень амплитуд динамических напряжений; $P_{\sigma i}$ – частота (вероятность) появления амплитуд напряжений с уровнем σ_{ai} в i -м интервале скоростей движения вагона.

Остаточный срок службы литых деталей третьего поколения, найденный по зависимости (5), составляет 55 лет и превышает аналогичную величину деталей второго поколения (из сталей 20 ГЛ, 20 Г1ФЛ и 20 ГТЛ) на 20 %.

По результатам прогнозной оценки остаточного ресурса литые детали, изготовленные из конструкционно-легированной стали 20 ХГНФТЛ, могут эксплуатироваться не менее 50 лет.

УДК 629.463.65

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ НАИБОЛЕЕ ПОВРЕЖДАЕМЫХ В ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ УНИВЕРСАЛЬНОГО ПОЛУВАГОНА

В. И. СЕНЬКО, А. В. ПИГУНОВ, И. Л. ЧЕРНИН, А. В. ПУТЯТО
Белорусский государственный университет транспорта

Универсальный полувагон – самый массовый тип подвижного состава, в котором перевозят грузы широкой номенклатуры. При этом наибольшее силовое воздействие элементы конструкции кузова испытывают при ударах от действия сыпучих и навалочных грузов. Как показала практика эксплуатации полувагонов, наиболее повреждаемыми элементами являются торцовые стены или двери и крышки разгрузочных люков.

Действующие «Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог колеи 1520 мм» предусматривают при расчете торцевой стены (двери) кузова по I режиму прикладывать к ней равномерно распределенное по всей площади динамическое давление насыпного груза, возникающее при соударении вагонов, от действия силы инерции массы груза, равной 0,35 грузоподъемности вагона при продольном ускорении $a_x = 3,5g$. Дополнительно торцовые стены (двери) рассчитываются на продольную нагрузку, возможную при соударении вагонов, равномерно распределенную по нижней части стены до высоты 600 мм по всей ширине кузова (соответствует случаю перевозки тяжелых штабельных грузов навалом).

Крышка разгрузочного люка, в соответствии с нормативными требованиями, должна быть рассчитана на равномерно распределенную нагрузку по ее площади. Кроме того, элементы ее каркаса рассчитываются на приложенное в центре сосредоточенное на площади 25×25 см усилие 50 кН.

Для оценки напряженно-деформированного состояния элементов конструкции универсального полувагона были разработаны расчетные конечно-элементные модели торцевой стены, торцевой двери и крышки разгрузочного люка. Моделирование и прочностные расчеты производились с использованием пакета прикладных программ DSMFEM, разработанного в Брянском государственном техническом университете на кафедре «Динамика и прочность машин». Для составления расчетной модели кузова полувагона использовались два типа конечных элементов – пластинчатые 3- и 4-угольные.