

В. И. СЕНЬКО, д.т.н., профессор, БелГУТ (Республика Беларусь);
Е. П. ГУРСКИЙ, к.т.н., БелГУТ (Республика Беларусь)

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ НА ГАРАНТИЙНЫХ УЧАСТКАХ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

На підставі статистичних даних про роботу гарантійної ділянки визначені й досліджені показники експлуатаційної надійності, а також розрахована оптимальна довжина ділянки за умовою надійності розглянутих вузлів вагона.

На основании статистических данных о работе гарантийного участка определены и исследованы показатели эксплуатационной надежности, а также рассчитана оптимальная длина участка по условию надежности рассматриваемых узлов вагона.

On the basis of statistical data about operation of the warranty section the operational reliability factors are determined and explored as well as the optimum length of the section according to the condition of reliability of the considered assemblies of a wagon is calculated.

Обеспечение безопасности движения на железнодорожном транспорте является одним из основных резервов в стабилизации и развитии экономики транспорта. Из-за нарушений безопасности движения создается угроза жизни и здоровья людей, носится значительный материальный ущерб, утрачиваются грузы, выводятся из строя дорогостоящая техника. После перехода к системе ремонта вагонов по календарной продолжительности и выполненному пробегу, заданный пробег между ремонтами существенно увеличился. Поэтому возросли требования к обеспечению безопасности движения в процессе технического обслуживания вагонов.

На Белорусской железной дороге достаточно успешно выполняется программа восстановления работоспособности подвижного состава. С целью своевременного выявления неисправного технического состояния вагонов, для предупреждения их отказов получили широкое распространение средства технического диагностирования: автоматическая аппаратура ДИСК-БКВ-Ц и ДИСК2-БКВТГЗ (обеспечивают контроль технического состояния подсистем: Б – букс; К – колесных пар; В – волочащихся деталей; Т – заторможенных колесных пар; Г – габарита подвижного состава в верхней части; З – перегруза вагонов; Ц – централизация информации), КТСМ-01, КТСМ-01Д (комплексы технических средств по модернизации аппаратуры ДИСК-Б), а также автоматизированная система контроля подвижного состава (АСК ПС), объединяющая в централизованную систему аппаратуру диагностики и контроля. 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 со старением вагонного парка. За период с 1992 по 2008 гг. средний возраст подвижного состава увеличился с 15 до 24 лет, а количество вагонов с истекшим нормативным сроком службы достигло 41 %.

Оздоровление парка вагонов только за счет закупки новых вагонов в условиях ограниченности финансовых средств является весьма проблематичным. Поэтому основное внимание сегодня должно быть уделено эффективной организации технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов. Однако это направление используется недостаточно и такая ситуация не способствует повышению эксплуатационной надежности подвижного состава на гарантийных участках полигона Белорусской железной дороги. 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, в результате чего повышается вероятность создания на транспорте опасных, аварийных ситуаций.

Для установления показателей эксплуатационной надежности на гарантийном участке Жлобин – Гомель собрана 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. Установлено, что наиболее отказоопасными, а значит самым затратным по содержанию и первостепенным по вниманию относительно безопасности движения и сохранности груза является полувагоны – 56 %, далее парк прочих вагонов – 16 %, (минераловозы, зерновозы, цементовозы), крытые – 12 %, цистерны – 8 % и платформы – 8 % (рис. 1).



Рис. 1. Диаграмма процентного соотношения отцепок по роду вагонов

По интенсивности отцепок в текущий неплановый ремонт наиболее отказоопасным узлом является кузов – 41 % от общего количества отказов (рис. 2):

- неисправности запора люков – 43 %; неисправности двери – 15 %; повреждение крышек люков и их петель – 15 %; трещины и обрывы сварных швов в заделках стоек – 13 %; прогибы стоек и верхней обвязки – 4 %; повреждения обшивки – 2 % и др. неисправности;

- причинами отказов автотормозного оборудования являются неисправности тормозного цилиндра – 14,5 %; ослабление, обрыв, излом тормозной магистрали – 14 %; завар башмака – 13 %; неисправности воздухораспределителя – 10 %; нарушение регулировки рычажной передачи – 6 %; неисправности авторежима и его привода – 5,5 % и др. неисправности;

- отказы тележек: отсутствие, смещение, излом пружин – 21 %; неисправности скользуна – 18 %; несоответствие регламентированных зазоров – 17 %; трещина и излом клина гасителя колебаний, боковой и надрессорной балки – 11 % и другие неисправности;

- отказы автосцепного устройства: неисправности поглощающего аппарата – 30 %; неисправности корпуса автосцепки – 17 %; излом, трещина ударной розетки – 9 %; трещина, излом тягового хомута и клина – 4 % и другие неисправности;

- отказы колесных пар: грение буксового узла, сдвиг буксы, излом или изгиб крышки буксы – 48 %; тонкий гребень – 15 %; остроконечный накат гребня – 14 %; ползуны, навары и выщербины обода колеса – 12 %; трещина, от-

кол обода колеса – 6 % и другие неисправности.

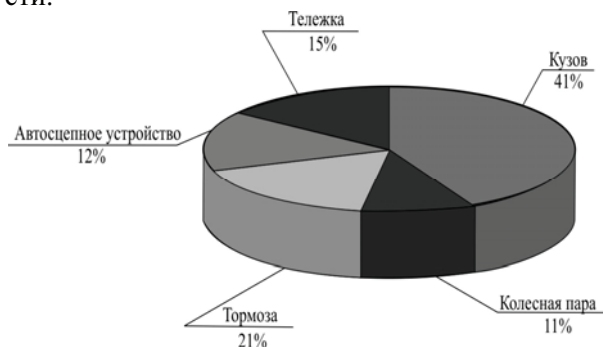


Рис. 2. Диаграмма процентного соотношения отцепок по узлу неисправности

На основании статистических данных определены и исследованы показатели, характеризующие эксплуатационную надежность грузовых вагонов на гарантийном участке [2]:

– параметр потока отказов вагонов

$$\omega_0 = \frac{n_0}{Nml} [1/\text{ваг} \cdot \text{км}], \quad (1)$$

где n_0 – число отказов, возникших за суммарный пробег в течение времени t ;

N – число проследовавших по участку поездов за время t ;

m – среднее число вагонов в поезде;

l – длина гарантийного участка, км;

– наработка на отказ

$$T = \frac{Nml}{n_0} [\text{ваг} \cdot \text{км}]. \quad (2)$$

– вероятность безотказного проследования поезда по участку. В работе [2, с. 31] доказано, что вероятность безотказного проследования по участку подчиняется экспоненциальному закону, и показано, что с увеличением длины гарантийного участка этот показатель надежности снижается

$$P(l) = e^{-ml/T}. \quad (3)$$

Для расчета оптимальной протяженности гарантийного участка реализован вероятностный подход, с учетом расчета квантилей случайной величины «наработки на отказ» для заданного уровня доверительной вероятности $T_{\text{расч}}$ [3]:

$$l_{\text{опт}} = -T_{\text{расч}} \ln P(l) / m. \quad (4)$$

Такой подход является вполне оправданным, так как при расчете длины гарантийного участка по математическому ожиданию «наработки на отказ», то есть по среднему значению, только 50 % ситуаций от выборочной совокупности будет иметь благоприятный исход. Рабо-

тать с таким уровнем доверительной вероятности при обосновании протяженности гарантийного участка недопустимо, поскольку в эти 50% как бы закладывается в расчеты отказы вагонов со всеми последующими исходами. Предположив, что эта случайная величина строго подчиняется нормальному распределению, график поведения плотности вероятностей будет иметь вид показанный на рис. 3, а формулу для определения $T_{расч}$ можно записать

$$T_{расч} = \bar{T}_i \pm t_{\beta} \sigma_T \quad (5)$$

где \bar{T}_i – математическое ожидание «наработки на отказ»; t_{β} – нормированное отклонение для заданного уровня доверительной вероятности; σ_T – среднее квадратическое отклонение случайной величины T .

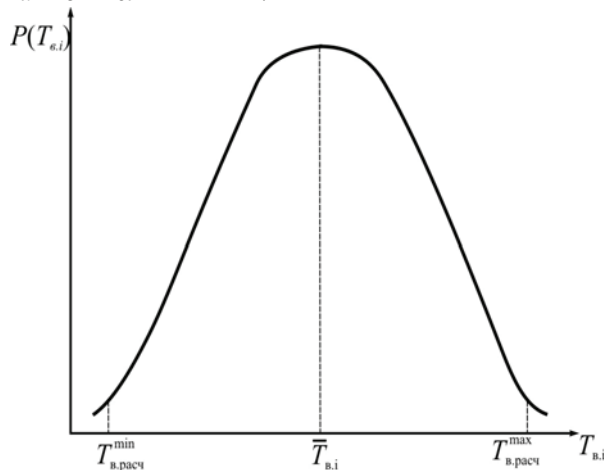


Рис. 3. График поведения плотности вероятностей

Исходными данными для расчета явились вычисленные значения «наработки на отказ» не в целом по вагону, а по узлам неисправностей за 2-ух летний период. Поэтому предлагается следующая запись условия оптимальности протяженности гарантийного участка по надежности грузового вагона:

$$l_{опт} = \min(l_{опт}^{К}, l_{опт}^{АВТ}, l_{опт}^{АВС}, l_{опт}^{КП}, l_{опт}^{ТЕЛ}) \quad (6)$$

где $l_{опт}^{К}, l_{опт}^{АВТ}, l_{опт}^{АВС}, l_{опт}^{КП}, l_{опт}^{ТЕЛ}$ – соответственно протяженности гарантийных участков по условию надежности кузова, автотормозов, автосцепного устройства, колесных пар, тележки.

Тогда формула (4) будет иметь следующий вид

$$\begin{cases} l_{опт}^{К} = -T_{расч}^{К} \cdot \ln P(l)/m; \\ l_{опт}^{АВТ} = -T_{расч}^{АВТ} \cdot \ln P(l)/m; \\ l_{опт}^{АВС} = -T_{расч}^{АВС} \cdot \ln P(l)/m; \\ l_{опт}^{КП} = -T_{расч}^{КП} \cdot \ln P(l)/m; \\ l_{опт}^{ТЕЛ} = -T_{расч}^{ТЕЛ} \cdot \ln P(l)/m. \end{cases}, \quad (7)$$

Графически этот процесс представлен на рис. 4.

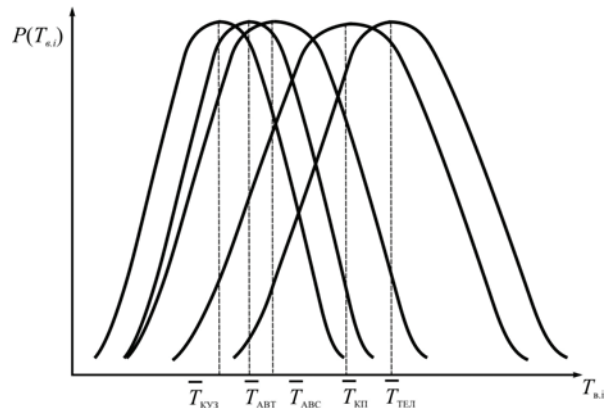


Рис. 4. Распределение наработки на отказ по узлам

Статический анализ результатов эксперимента в части исследования закона распределения случайной величины «наработка на отказ» по узлам неисправностей позволил получить квантили $T_{расчi}$ для доверительной вероятности $P(l)$ от 0,05 до 0,95 с шагом 0,05. Весьма принципиальным является выбор расчетного значения случайной величины, оптимальная величина которого находится в интервале от $T_{в.расч}^{min}$ до

$T_{в.расч}^{max}$ (см. рис. 3). Если мы зададимся $T_{в.расч}^{max}$,

то длина гарантийного участка будет явно завышенной. С другой стороны, вероятность появления на участке вагона с таким уровнем надежности будет мала. Другими словами, вагоны не будут выдерживать такой протяженности гарантийного участка. Железная дорога в этом случае будет нести существенные экономические убытки как из-за остановки поездов на участке по причине отказов вагонов, так и в случае аварий и крушений, которые в большинстве своем являются следствием внезапных отказов вагонов. Если мы принимаем второй случай $T_{в.расч}^{min}$, тогда значительно увеличится вероятность востребования вагоном (по условию его надежности) такой длины гарантийного участка. В этом случае значительно повысится уровень безопасности движения поездов на гарантийном участке. Графическая интерпрета-

ция выбора расчетного значения «наработки на отказ» и, естественно, протяженности гарантийного участка показана на рис. 5.

Проведенные исследования и полученные результаты позволили получить значения оптимальной длины гарантийного участка $l_{онт}^i$ Жлобин-Могилев по условию надежности рассматриваемых узлов. Результаты расчета представлены в табл. 1.

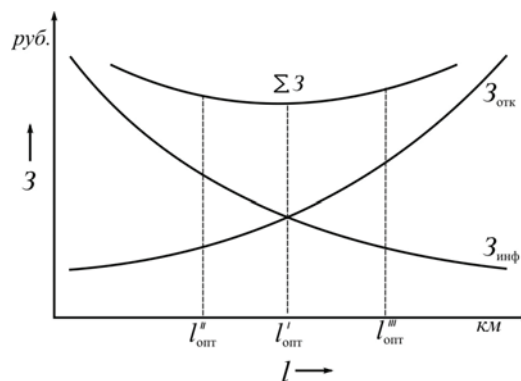


Рис. 5. Графическая интерпретация процесса оптимизации

Таблица 1

Результаты расчета

Узел вагона	Закон распределения	Параметры распределения	$\chi^2_{расч}$	$\chi^2_{крит}$ ($\alpha = 0,05$)	Квантиль $T_{расч}$ ($P_{дов} = 0,95$)	$l_{онт}$, км
Кузов	Нормальный	$m = 516384$ $\sigma = 793743$	7,892	9,488	1821980	60,6
Колесная пара	Нормальный	$m = 1425500$ $\sigma = 791152$	4,994	9,488	2726830	90,7
Тормоза	Логнормальный	$m = 809811$ $\sigma = 759382$	6,981	9,488	2181690	72,0
Автосцепка	Логнормальный	$m = 948764$ $\sigma = 1114940$	5,189	9,488	2845320	93,9
Тележка	Вейбулла	$b = 1,56731$ $\lambda = 1309170$	10,380	12,592	2636460	85,0

Определено, что наименьшей протяженностью обладает гарантийный участок ($l_{онт} = 60,6$ км) рассчитанный по эксплуатационной надежности «кузова», а наибольшей по надежности «автосцепки» ($l_{онт} = 93,9$ км). Результаты расчета показали, что при доверительной вероятности безотказного проследования состава по участку на уровне 0,95 и расчетных значениях случайной величины «наработка на отказ» при $P_{дов} = 0,95$, гарантийный участок будет обеспечен только эксплуатационной надежностью автосцепного устройства и колесных пар, так как эксплуатационная длина железнодорожного участка Жлобин – Гомель составляет 86 км. Поэтому, учитывая то, что в структуре парка вагонов, проходящих по гарантийному участку, более 40 % приходится на полувагоны процессам ремонта и технического обслуживания кузова (далее тормоза, тележки, колесной пары, автосцепки) необходимо уделять самое пристальное внимание.

К сожалению, при отсутствии в полном объеме мероприятий по обновлению и оздоровлению

подвижного состава, возможно обострение ситуации с безопасностью и надежностью на гарантийных участках. Поэтому уже сейчас необходимо рассматривать гарантийные участки как систему с изменяющимися параметрами, для расчета и управления которыми необходимо иметь и постоянно накапливать объективную информацию о состоянии вагонного парка, отдельного вагона, его подсистем и элементов, выделить наиболее важные закономерности, определить цели функционирования такой системы, иметь средства воздействия на безопасность работы гарантийного участка. До настоящего времени информация о состоянии вагонного парка, уровня технического обслуживания вагонов на станциях и других факторах, влияющих на безопасность работы, носит фрагментарный характер, не систематизирована, представлена в виде, не удобном для пользователя, а тем более для обработки и использования ее в оперативном режиме.

Проведение исследований по каждому гарантийному участку полигона Белорусской железной дороги позволит классифицировать уча-

стки с учетом возможных экономических потерь от отказов вагонов на них, усовершенствовать территориальную схему размещения пунктов технического обслуживания, внедрить на ПТО усовершенствованный технологический процесс технического обслуживания вагонов и повысить надежность на гарантийных участках.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Исследование динамики изменения парка грузовых вагонов за период 1995–2004 годы и расчет прогнозных показателей на период 2006–2010 годы [Текст] : отчет о НИР 3931 (заключ.)

- / Белорус. гос. ун-т трансп.; рук. Сенько В. И. – Гомель, 2005. – 30 с. – № ГР 20053427.
2. Гридюшко, В. И. Вагонное хозяйство [Текст] : учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. / В. И. Гридюшко, В. П. Бугаев, Н. З. Криворучко. – М.: Транспорт, 1988. – 295 с.
3. Сенько, В. И. Совершенствование организации технического обслуживания и текущего ремонта грузовых вагонов [Текст] / В. И. Сенько. – Гомель: БелГУТ, 2002. – 178 с.

Поступила в редколлегию 17.07.2009