

УДК 629.463.001.18

*В. И. СЕНЬКО, доктор технических наук, Е. П. ГУРСКИЙ, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

## РАСЧЕТ ПРОТЯЖЕННОСТИ ГАРАНТИЙНЫХ УЧАСТКОВ ПО НАДЕЖНОСТИ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ В УСЛОВИЯХ РИСКА

Показана актуальность и практическая значимость данной проблемы. На основании статистических данных о работе гарантийного участка Минск – Орша определены и исследованы показатели эксплуатационной надежности, а также рассчитана оптимальная длина участка по условию надежности рассматриваемых узлов вагона. При расчете длины гарантийного участка применен вероятностный подход: выполнен подбор закона распределения случайной величины «наработка на отказ» и получены ее расчетные значения для заданного уровня доверительной вероятности. 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, сократить количество отказов и тем самым повысить безопасность движения.

**П**овышение безопасности движения поездов является сегодня важнейшей составляющей успешного функционирования и развития транспорта, что во многом определяется уровнем технического обслуживания и ремонта подвижного состава. Поэтому техническое обслуживание вагонов является одной из основных задач вагонного хозяйства железной дороги по обеспечению перевозочного процесса надежным и безопасным подвижным составом.

Теоретическим основам и совершенствованию организации технологических процессов структурных подразделений вагонного хозяйства, занятых техническим обслуживанием вагонов, посвящен ряд научных работ В. И. Гридюшко, Н. З. Криворучко, П. А. Устича, В. А. Ивашова, М. В. Орлова, В. Ф. Лапшина и других отечественных и зарубежных авторов. Вместе с тем многие вопросы, связанные с повышением надежности вагонов на участках железных дорог, остаются до конца не решенными.

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 – замороженных колесных пар; Г – габарита подвижного состава в верхней части; З – перегруза вагонов; Ц – централизации 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. Однако анализ работы

дороги показал, что надежность вагонного парка снижается, а размеры социально-экономических потерь от опасных отказов вагонов на гарантийных участках существенные. Во многом это связано с техническим состоянием вагонного парка, а также с увеличением межремонтных пробегов. Поэтому сегодня основное внимание 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. Обоснованная протяженность гарантийных участков снижает вероятность создания на транспорте опасных, аварийных ситуаций.

Полигон – совокупность участков железнодорожного пути в пределах дороги, со всеми техническими сооружениями и устройствами. На полигоне расположены участковые или промежуточные и сортировочные станции, на которых обычно размещены вагонные депо. Вагонное депо имеет участки технического обслуживания вагонов обычно в пределах отделения дороги, а также в ее границах. Все объекты вагонного хозяйства на участках обслуживания принадлежат депо, на которые возложены обязанности по техническому обслуживанию вагонов на этих участках: контроль за обеспечением безопасности движения по вагонному хозяйству и соблюдением графика движения поездов; контроль за сохранностью вагонного парка, все технические операции с вагонами (подготовка вагонов к перевозкам, проверка техниче-

ского состояния вагонов (осмотр) перед прицепкой к поездам, опробование тормозов, решение вопросов об отцепке неисправных вагонов в пути следования, производство текущего отцепочного ремонта, а в случае вынужденной остановки поезда из-за неисправности вагона на перегоне – решение о выводе вагона на станцию). Границами участков обслуживания служат промежуточные или участковые станции, точнее, входной или выходной светофор станции, т. е. граничная станция относится к одному из участков обслуживания. Для пунктов технического обслуживания вагонов и других эксплуатационных подразделений вагонного хозяйства, выполняющих техническое обслуживание вагонов в поездах после формирования (пунктов опробования тормозов, подготовки вагонов к перевозкам, контрольных постов и других), установлены гарантийные участки для грузовых вагонов. Эти участки пути от станции отправления и до станции назначения поезда, на которых пункт должен обеспечивать безотказное следование вагонов в обслуживаемых поездах.

Поэтому необходимо решение задачи по оценке эксплуатационной надежности грузовых вагонов на отдельном гарантийном участке полигона Белорусской железной дороги и обеспеченности протяженности гарантийного участка требуемой надежностью основных узлов подвижного состава.

Для установления показателей эксплуатационной надежности на гарантийном участке Минск – Орша собран массив статистических данных о работе ПТО рассматриваемых станций за 2008–2009 гг. Далее выполнен анализ данных о количестве поездов, проследовавших по участку, вагонов в составах, отцепок грузовых вагонов по родам и узлам неисправностей и длине гарантийного участка. Соотношения отцепок по роду вагона и узлу неисправности приведены на рисунках 1 и 2.

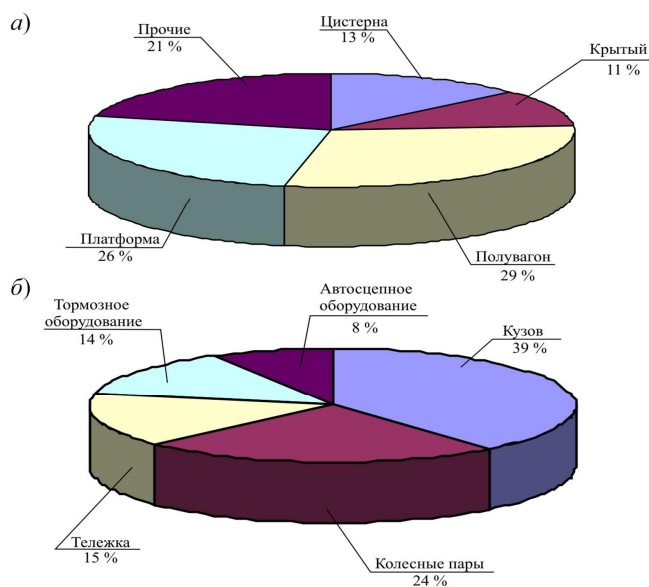


Рисунок 1 – Соотношения отцепок:  
а – по роду вагона; б – по узлу неисправности

Установлено, что наиболее отказоопасными, а значит, самыми затратными по содержанию и первостепенными по вниманию относительно безопасности движения и сохранности груза являются полувагоны – 29 %, платформа – 26 %, прочие (минераловозы, зерновозы, думпкары и т. д.) – 21 %, цистерна – 13 %, крытый – 11 %.

По интенсивности отцепок в текущий непланный ремонт наиболее отказоопасным узлом является кузов (39 % – это неисправности крышек люков, петель, запоров, трещины и обрывы сварных швов в заделках стоек, прогибы стоек и верхней обвязки, повреждения обшивки), колесные пары (24 % – буксовый узел, ползуны, навары, неравномерный прокат, износ гребней колесных пар), тележка (15 % – интенсивный износ трущихся поверхностей рессорного подвешивания тележки, боковой и наддресорной балок), тормозное оборудование (14 % – низкая надежность работы тормозной магистрали, рычажной передачи и воздухораспределителя), автосцепное устройство (8 % – трещины, изломы и разрывы литых деталей, износ и повреждение деталей механизма автосцепки).

На основании статистических данных определены и исследованы показатели, характеризующие эксплуатационную надежность грузовых вагонов на гарантийном участке [1]:

– наработка на отказ (ваг·км)

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

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  $t$ ;

– вероятность безотказного проследования поезда по участку. В работе [1] доказано, что вероятность безотказного проследования по участку подчиняется экспоненциальному закону, и показано, что с увеличением длины гарантийного участка этот показатель надежности снижается:

$$P(l) = e^{-ml/T}. \quad (2)$$

Для расчета оптимальной протяженности гарантийного участка реализован вероятностный подход с учетом расчета квантилей случайной величины «наработки на отказ» для заданного уровня доверительной вероятности  $T_{\text{расч}}$  [2]:

$$l_{\text{опт}} = -T_{\text{расч}} \ln P(l)/m. \quad (3)$$

Такой подход является вполне оправданным, так как при расчете длины гарантийного участка по математическому ожиданию «наработки на отказ», т. е. по среднему значению, только 50 % ситуаций от выборочной совокупности будет иметь благоприятный исход. Работать с таким уровнем

доверительной вероятности при обосновании протяженности гарантийного участка недопустимо, поскольку в эти 50 % как бы закладываются 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 рисунке 2, а формулу для определения  $T_{расч}$  можно записать

$$T_{расч} = \bar{T}_i \pm t_{\beta} \sigma_T, \quad (4)$$

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

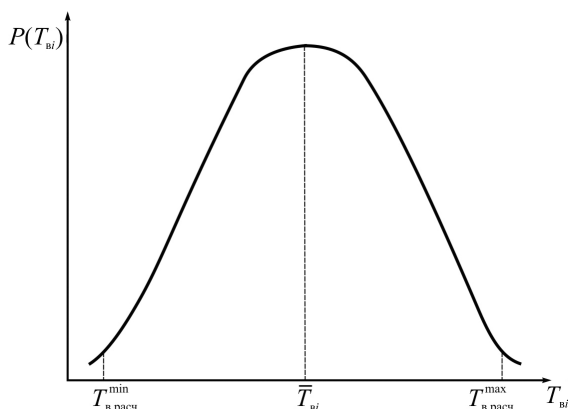


Рисунок 2 – График поведения плотности вероятностей

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

$$l_{опт} = \min(l_{опт}^к, l_{опт}^{авт}, l_{опт}^{авс}, l_{опт}^{кп}, l_{опт}^{тел}), \quad (5)$$

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, буксового узла, тележки, рессорного подвешивания.

Тогда формула (4) будет иметь следующий вид

$$\begin{cases} l_{опт}^к = -T_{расч}^к \cdot \ln P(l)/m; \\ l_{опт}^{авт} = -T_{расч}^{авт} \cdot \ln P(l)/m; \\ l_{опт}^{авс} = -T_{расч}^{авс} \cdot \ln P(l)/m; \\ l_{опт}^{кп} = -T_{расч}^{кп} \cdot \ln P(l)/m; \\ l_{опт}^{тел} = -T_{расч}^{тел} \cdot \ln P(l)/m. \end{cases} \quad (6)$$

Статистический анализ результатов эксперимента в части исследования закона распределения случайной величины «наработка на отказ» по уз-

лам неисправностей позволил получить квантили  $T_{расч_i}$  для доверительной вероятности  $P(l)$  от 0,05 до 0,95 с шагом 0,05. Графическая интерпретация закона распределения представлена на рисунке 3.

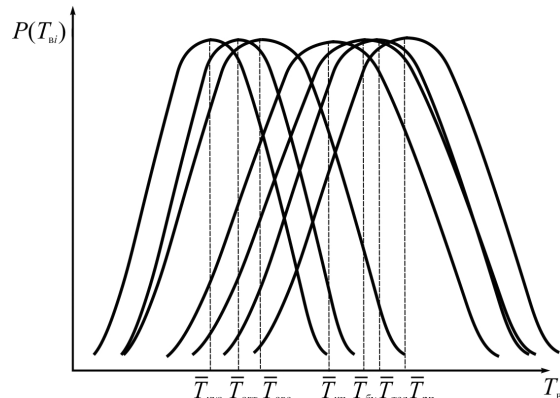


Рисунок 3 – Распределение наработки на отказ по узлам

Весьма принципиальным является выбор расчетного значения случайной величины, оптимальная величина которого находится в интервале от  $T_{в.расч}^{мин}$  до  $T_{в.расч}^{max}$  (см. рисунок 2). 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. Тогда 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 рассматривать второй случай и принять минимальное расчетное значение наработки на отказ, то тогда значительно увеличится вероятность востребования вагоном (по условию его надежности) такой длины гарантийного участка, что позволит значительно повысить уровень безопасности движения поездов. Графическая интерпретация выбора расчетного значения «наработки на отказ» и, естественно, протяженности гарантийного участка показана на рисунке 4.

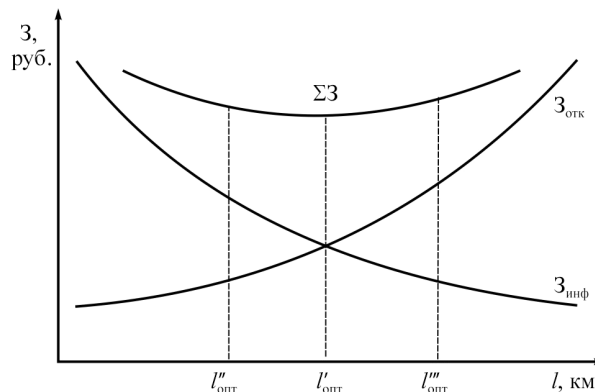


Рисунок 4 – Графическая интерпретация процесса оптимизации

При увеличении расчетного значения «наработки на отказ» согласно зависимости (4) увеличится и длина гарантийного участка. Вполне логично, что в этой ситуации будут увеличиваться расходы, вызванные более частым отказом вагонов  $Z_{отк}$ . С другой стороны, будут уменьшаться расходы, вызванные необходимостью остановки поездов и содержанием всей инфраструктуры, обеспечивающей обслуживание поездов  $Z_{инф}$ .

С учетом результатов исследований случайной

Таблица 1 – Результаты расчета

Узел вагона	Закон распределения	Параметры распределения	$\chi^2$	$\chi^2$ ( $\alpha = 0,05$ )	Квантиль $T_{расч}$ ( $P_{дов} = 0,95$ )	$l_{опт}$ , км
Кузов	Логнормальный	$\alpha = 124805$ $\sigma = 793743$	15,3	16,91	314336	206
Колесная пара		$\alpha = 136088$ $\sigma = 109558$	15,7	16,91	339025	222
Автотормозное оборудование		$\alpha = 160790$ $\sigma = 120446$	12,8	15,50	385738	253
Автосцепное оборудование		$\alpha = 162871$ $\sigma = 122054$	11,83	14,06	390814	256
Тележка		$\alpha = 155340$ $\sigma = 122781$	13,23	15,50	383317	251

Таким образом, в ходе проведения исследований установлено, что наименьшей протяженностью обладает гарантийный участок ( $l_{опт} = 206$  км), рассчитанный по эксплуатационной надежности «кузова», а наибольшей – по «автосцепному оборудованию» ( $l_{опт} = 256$  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 эксплуатационной надежностью всех рассматриваемых узлов, кроме «кузова». Поэтому процессам ремонта и технического обслуживания кузова (далее – колесная пара, тележка, автотормозное и автосцепное оборудование) необходимо уделять самое пристальное внимание.

К сожалению, при отсутствии выполнения в полном объеме мероприятий по оздоровлению подвижного состава возможно обострение ситуации с безопасностью и надежностью на гарантийных участках. Поэтому сегодня 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

величины  $T_{расч}$  можно предположить, что явный оптимум будет отсутствовать. Поэтому реальная протяженность участка будет находиться в каком-то диапазоне от  $l_{опт}''$  до  $l_{опт}'''$ .

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

цели функционирования такой системы, иметь средства воздействия на безопасность работы гарантийного участка. До настоящего времени информация о состоянии вагонного парка, уровне 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.

Следовательно, проведение исследований по каждому гарантийному участку полигона Белорусской железной дороги позволит классифицировать участки по отказоопасности, усовершенствовать территориальную схему размещения пунктов технического обслуживания, сократить количество отказов и тем самым повысить безопасность движения поездов.

#### Список литературы

- 1 Гридюшко, В. И. Вагонное хозяйство : учеб. пособие для вузов / В. И. Гридюшко, В. П. Бугаев, Н. З. Криворучко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1988. – 295 с.
- 2 Сенько, В. И. Совершенствование организации технического обслуживания и текущего ремонта грузовых вагонов / В. И. Сенько. – Гомель : БелГУТ, 2002. – 178 с.
- 3 Лапшин, В. Ф. Основы технического обслуживания вагонов : учеб. пособие / В. Ф. Лапшин, М. В. Орлов. – Екатеринбург : УрГУПС, 2006. – 375 с.

Получено 29.09.2009.

**W. I. Senko, E. P. Gurskiy.** Calculation to extent warranty area on reliability of the freight-cars in condition of the risk.

It is shown urgency and practical value given problems. On the grounds of statistical given about functioning the warranty area Minsk-Orsha, are determined and explored factors to serviceability, as well as is calculated optimum length of the area on condition of reliability of the considered nodes of the coach. At calculation of the length of the warranty area applying probabilistic approach: is executed selecting the law of the sharing the random quantity "lifelength on refusal" and are received its design values for given level to confidential probability. Undertaking the studies on each warranty area of the firing range of the Belorussian railway will allow to classify area with provision for possible economic losses from refusal coach on them, as well as improve territorial scheme of the accomodation of the points of the technical maintenance, shorten amount a refusal and hereunder raise safety of the motion.