

УДК 629.463.001.18

## ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ И ВЫБОР ПРОТЯЖЕННОСТИ ГАРАНТИЙНОГО УЧАСТКА

**Е. П. ГУРСКИЙ**

*Учреждение образования «Белорусский государственный  
университет транспорта», г. Гомель*

Повышение безопасности движения поездов является на сегодняшний день важной 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, стоящих 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. 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, а количество вагонов с истекшим нормативным сроком службы 41 % [1]. Одним из показателей, который наиболее полно отражает техническое состояние вагонов, является частота поступления их в текущий отцепочный ремонт. За последние годы данный показатель увеличился более чем 2 раза, в то же время «наработка на отказ» уменьшилась более чем на 30 %. Оздоровление парка вагонов только за счет закупки новых вагонов в условиях ограниченности финансовых средств является весьма проблематичным. Поэтому особое внимание сегодня должно быть уделено организации эффективного технического обслуживания и ремонта 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 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 отказоопасным, а значит, самым затратным по содержанию и первостепенным по вниманию относительно безопасности движения и сохранности груза является полувагон – 58 %, далее парк прочих вагонов – 14 % (минераловозы, зерновозы, цементовозы), крытые – 10 %, цистерны – 9 % и платформы – 9 % (рис. 1).

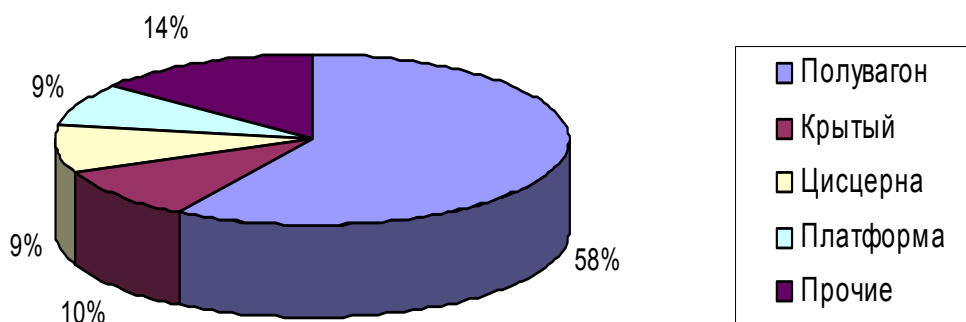


Рис. 1. Диаграмма процентного соотношения отцепок по роду вагонов

По интенсивности отцепок в текущий неплановый ремонт наиболее отказоопасным узлом является «кузов» (41 % от общего количества отказов – это неисправности крышек люков, петель, 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 надрессорной 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) (рис. 2).

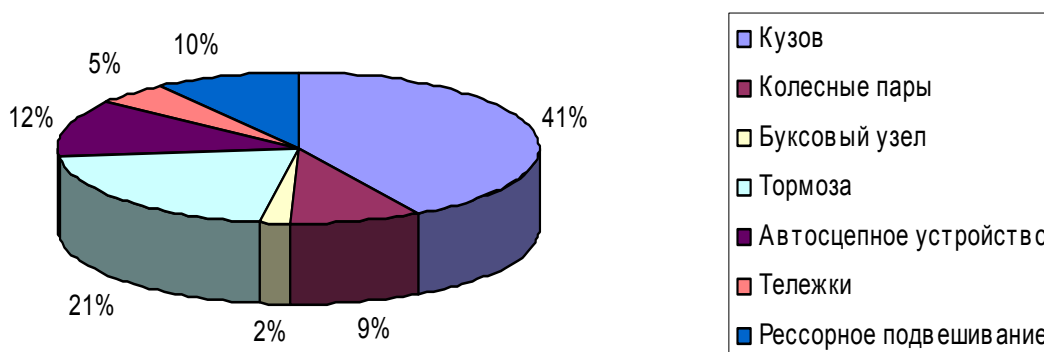


Рис. 2. Диаграмма процентного соотношения отцепок по узлу неисправности

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

- параметр потока отказов вагонов

$$\psi_0 = \frac{n_0}{Nml} [1/\text{ваг} \cdot \text{км}], \quad (1)$$

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

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

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]:

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

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, представленный на рис. 3, а формулу для определения  $T_{\text{расч}}$  можно записать

$$T_{\text{расч}} = \bar{T}_i \pm t_{\beta} \sigma_T , \tag{5}$$

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  $T_{\text{расч}}$ .

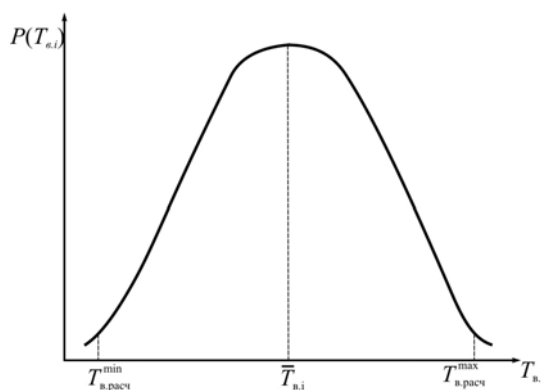


Рис. 3. График поведения плотности вероятностей

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

$$l_{\text{опт}} = \min(l_{\text{опт}}^{\text{К}}, l_{\text{опт}}^{\text{АВТ}}, l_{\text{опт}}^{\text{АВС}}, l_{\text{опт}}^{\text{КП}}, l_{\text{опт}}^{\text{БУ}}, l_{\text{опт}}^{\text{ТЕЛ}}, l_{\text{опт}}^{\text{РП}}) , \tag{6}$$

где  $l_{\text{опт}}^{\text{К}}, l_{\text{опт}}^{\text{АВТ}}, l_{\text{опт}}^{\text{АВС}}, l_{\text{опт}}^{\text{КП}}, l_{\text{опт}}^{\text{БУ}}, l_{\text{опт}}^{\text{ТЕЛ}}, l_{\text{опт}}^{\text{РП}}$  – 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:

$$\left\{ \begin{array}{l} l_{\text{опт}}^{\text{K}} = -T_{\text{расч}}^{\text{K}} \cdot \ln P(l)/m; \\ l_{\text{опт}}^{\text{ABT}} = -T_{\text{расч}}^{\text{ABT}} \cdot \ln P(l)/m; \\ l_{\text{опт}}^{\text{ABC}} = -T_{\text{расч}}^{\text{ABC}} \cdot \ln P(l)/m; \\ l_{\text{опт}}^{\text{КП}} = -T_{\text{расч}}^{\text{КП}} \cdot \ln P(l)/m; \\ l_{\text{опт}}^{\text{БУ}} = -T_{\text{расч}}^{\text{БУ}} \cdot \ln P(l)/m; \\ l_{\text{опт}}^{\text{РП}} = -T_{\text{расч}}^{\text{РП}} \cdot \ln P(l)/m; \\ l_{\text{опт}}^{\text{ТЕЛ}} = -T_{\text{расч}}^{\text{ТЕЛ}} \cdot \ln P(l)/m. \end{array} \right.$$

Графически этот процесс представлен на рис. 4.

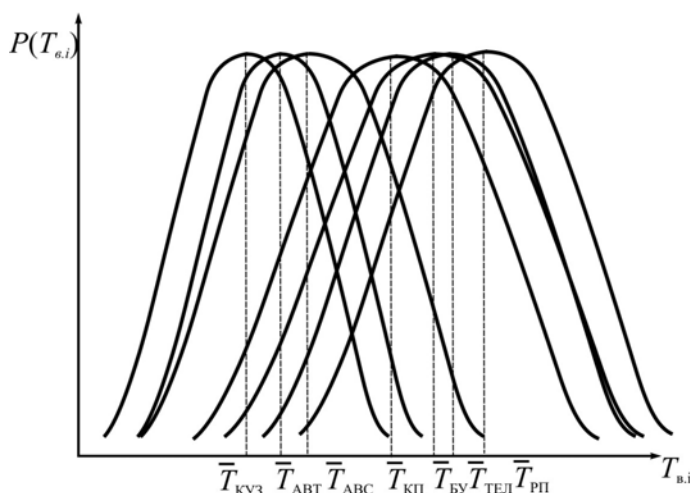


Рис. 4. Распределение «наработки на отказ» по узлам

Статический анализ результатов эксперимента в части исследования закона распределения случайной величины «наработка на отказ» по узлам неисправностей позволил получить квантили  $T_{\text{расч}i}$  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  $T_{\text{в.расч}}^{\text{min}}$  до  $T_{\text{в.расч}}^{\text{max}}$  (рис. 3). Если мы зададимся  $T_{\text{в.расч}}^{\text{max}}$ , 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  $T_{\text{в.расч}}^{\text{min}}$ , 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 интерпретация выбора расчетного значения «наработки на отказ» и, естественно, протяженности гарантийного участка показана на рис. 5.

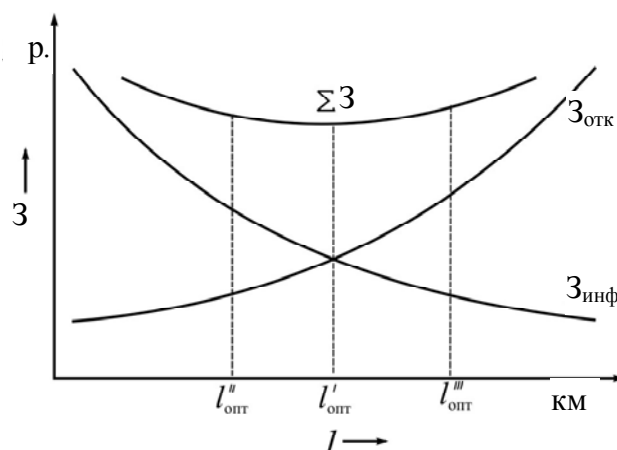


Рис. 5. Графическая интерпретация процесса оптимизации

При увеличении длины гарантийного участка, вполне логично, 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. С учетом результатов исследований случайной 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  $l^i_{опт}$  Жлобин–Могилев по условию надежности рассматриваемых узлов. Результаты расчета представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Результаты расчета длины гарантийного участка**

Узел вагона	Закон распределения	Квантиль $T_{расч}$ ( $P_{дов} = 0,95$ )	$l_{опт}$ , км
Кузов	Нормальный	2410310	81
Автотормоза	Лапласа	2462900	82
Автосцепка	Рэля	2918120	97
Колесная пара	Нормальный	2720450	98
Буксовый узел	Нормальный	2969810	96
Тележка	Нормальный	2602750	87
Рессорное подвешивание	Нормальный	2641730	88

Определено, что наибольшей неопределенностью будет обладать протяженность гарантийного участка ( $l_{опт} = 81$  км), полученная по эксплуатационной надежности «кузова», а наименьшей – по надежности «колесных пар» ( $l_{опт} = 98$  км). Учитывая, что в структуре парка вагонов, проходящих по гарантийному участку, более 40 % приходится на полувагоны процессам, то процессам ремонта и технического обслуживания этого узла вагона 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 станет 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.

Таким образом, проведение исследований по каждому гарантийному участку полигона Белорусской железной дороги позволят:

- классифицировать участки с учетом возможных экономических потерь от отказов вагонов на них. Классификация должна проводиться в два этапа. На первом дается оценка возможности работы участка по показателям, характеризующим эксплуатационную надежность грузовых вагонов. Наиболее отказоопасным является тот участок, для которого «наработка на отказ» имеет меньшую по сравнению с другими участками величину и т. д. На втором этапе подсчитываются возможные экономические потери, вызванные отказом вагонов. Обобщающим выводом по каждому участку должен быть допустимый уровень надежности подвижного состава дифференцированно по каждому участку;

- совершенствовать территориальную схему размещения пунктов технического обслуживания. Решение этой задачи предусматривает приведение в соответствие существующей схемы размещения ПТО, технологии обслуживания вагонов на них с учетом классификации гарантийных участков по последствиям социально-экономических потерь от отказов вагонов. Одним из важнейших моментов в данном направлении является разработка рациональной схемы размещения диагностических средств автоматического контроля подвижного состава ДИСК-БКВ-Ц и КТСМ, которые должны максимально обеспечить выявление перегретых буксовых узлов с учетом не только абсолютной температуры, но и скорости ее нарастания;

- внедрить на ПТО усовершенствованный типовой технологический процесс технического обслуживания вагонов. Важной особенностью является обоснование контингента работников ПТО, который должен рассчитываться с учетом случайного характера времени на обслуживание одного вагона, регулярности прибытия и отправления поездов и др. Для оценки имеющихся резервов и приоритетов в совершенствовании работы ПТО следует по каждому из них оценить уровень технического обслуживания вагонов.

### Литература

1. Исследование динамики изменения парка грузовых вагонов за период 1995–2004 годы и расчет прогнозных показателей на период 2006–2010 годы : отчет о НИР 3931 (заключ.) / Белорус. гос. ун-т трансп. ; рук. В. И. Сенько. – Гомель, 2005. – 30 с. – № ГР 20053427.
2. Гридюшко, В. И. Вагонное хозяйство : учеб. пособие для вузов / В. И. Гридюшко, В. П. Бугаев, Н. З. Криворучко. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Транспорт, 1988. – 295 с.
3. Сенько, В. И. Совершенствование организации технического обслуживания и текущего ремонта грузовых вагонов / В. И. Сенько. – Гомель : БелГУТ, 2002. – 178 с.

*Получено 23.10.2008 г.*