

УДК 629.463.001.18

Е. П. ГУРСКИЙ

Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ НА ОСНОВЕ ВЕРОЯТНОСТНОГО АНАЛИЗА ИХ ОТКАЗОВ

Проведен анализ нарушений безопасности движения поездов и отказов подвижного состава на Белорусской железной дороге. На основании статистических данных о работе гарантийных участков определены и исследованы показатели эксплуатационной надежности, а также установлена длина участков по условию обеспечения требуемой надежности. 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 вероятностной надежности. Предлагаемая методика позволяет классифицировать гарантийные участки полигона железной дороги с учетом возможных экономических потерь от отказов вагонов на них, усовершенствовать территориальную схему размещения пунктов технического обслуживания, усовершенствовать технологические процессы их работы, сократить отказы и повысить эксплуатационную надежность грузовых вагонов.

Ключевые слова: безопасность движения поездов, грузовой вагон, статистика неисправностей, наработка на отказ, гарантийный участок.

Обеспечение безопасности движения поездов является важной составляющей эффективной работы и развития железнодорожного транспорта. На железных дорогах безопасность движения поездов обеспечивается путем осуществления комплекса профилактических мер, включающих кадровую, организационную, технологическую и техническую составляющие. Нарушения безопасности движения в поездной и маневровой работе классифицируются на транспортные происшествия и события, связанные с нарушением правил безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта. В 2016 году количество нарушений безопасности движения на Белорусской железной дороге сократилось по сравнению с 2015 годом с 67 до 60 случаев (таблица 1). За указанные два года по вине работников Белорусской железной дороги не допущено транспортных происшествий.

Основными видами событий, связанных с нарушением правил безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта, явились случаи:

– повреждения или отказа локомотива, моторвагонного подвижного состава, вызвавшие вынужденную остановку пассажирского поезда на перегоне или промежуточной железнодорожной станции, если дальнейшее движение поезда продолжено с помощью вспомогательного локомотива;

– неисправности технических средств, в результате которых допущена задержка поезда сверх времени, установленного графиком движения, на один час и более;

– столкновения, схода железнодорожного подвижного состава при маневрах, экипировке и других передвижениях;

– отцепки вагона от грузового поезда в пути следования по технической неисправности.

Таблица 1 – Нарушения безопасности движения поездов

Вид нарушения безопасности движения	Количество	
	2015 г.	2016 г.
Транспортные происшествия	0	0
Всего событий, связанных с нарушениями	67	60
В том числе:		
столкновения или сходы подвижного состава в поездах	1	–
прием или отправление поезда по неготовому маршруту	1	2
отправление поезда на занятый перегон	–	–
проезд запрещающего сигнала или предельного столбика	5	2
перевод стрелки под составом	1	–
уход вагонов на маршрут приема поезда или на перегон	1	–
отцепка вагона от пассажирского поезда из-за технической неисправности	1	–
порча локомотива с требованием вспомогательного локомотива в пассажирском поезде	18	23
перекрытие разрешающего показания сигнала на запрещающее, вызвавшего проезд запрещающего сигнала (на станции)	3	2
отцепка вагона от грузового поезда из-за технической неисправности	2	4
обрыв автосцепки	1	–
саморасцеп автосцепок в поезде	–	–
взрез стрелки	1	3
отцепка вагона от поезда на промежуточной станции из-за нарушений технических условий погрузки	–	–
падение на путь деталей подвижного состава	–	–
неисправность подвижного состава, контактной сети, пути, СЦБ с задержкой поезда на 1 час и более	14	15
столкновения подвижного состава при маневрах	5	2
сходы подвижного состава при маневрах	12	7
излом рельса	–	–
наезд поезда на механизмы, оборудование и другие железнодорожные предметы	–	–
неисправность пути, потребовавшая закрытия движения на участке	1	–

В 2016 году наибольшее количество нарушений безопасности допущено в локомотивном хозяйстве – 61% от общего количества. В вагонном хозяйстве количество событий, связанных с нарушением безопасности движения

и эксплуатации железнодорожного транспорта, составило 8 %, что на 2 % больше, чем в предыдущем году. Статистические данные по нарушениям безопасности движения поездов и отказам технических средств по вагонному хозяйству за 2010–2016 годы представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Нарушения безопасности движения поездов и отказы технических средств по вагонному хозяйству за 2010–2016 годы

Годы	Нарушения безопасности движения	Отказы технических средств
2010	42	667
2011	14	670
2012	6	572
2013	2	378
2014	11	363
2015	3	371
2016	4	299

Состояние безопасности движения в 2016 году по отношению к уровню 2015 года ухудшилось. За 2016 год допущено четыре события, связанных с нарушением безопасности движения и эксплуатацией железнодорожного транспорта. В 2016 году по вине вагонных депо допущено 158 задержек поездов, в 2015 – 166, по вине других железнодорожных служб – 220 и 173 соответственно.

Основные причины нарушений безопасности движения поездов, допущенных в 2016 году – невысокий уровень трудовой и технологической дисциплины работников, несовершенство технологических процессов технического обслуживания. Поэтому в числе приоритетных задач и первоочередных мер по улучшению состояния безопасности движения поездов и маневровой работы для вагонного хозяйства важное место занимает повышение качества ремонта и технического обслуживания подвижного состава на пунктах технического обслуживания (ПТО).

Одним из резервов, позволяющим повысить эксплуатационную надежность грузовых вагонов, является установление обоснованной протяженности гарантийных участков, на которых должно обеспечиваться безотказное проследование составов.

Длина безостановочного движения поездов, учитывая средневзвешенное значение наработки на отказ в целом по вагону [1]:

$$l_{\text{опт}} = -T \ln P(l) / m . \quad (1)$$

где T – наработка на отказ; $P(l)$ – вероятность безотказного проследования состава по гарантийному участку; m – среднее число вагонов в составе.

Приняв допущение о расчете протяженности гарантийных участков по средневзвешенному для вагона значению наработки на отказ, необходимо, тем не менее, учитывать ее вероятностную природу. Тогда зависимость (1) примет вид

$$l_{\text{опт}} = -T_{\text{расч}} \ln P(t) / m , \quad (2)$$

где $T(V)_{\text{расч}}$ – расчетное значение случайной величины T при заданном уровне доверительной вероятности (β), который определяет степень риска в безостановочном проследовании поездов.

Предположив, что $T_{\text{расч}}$ случайная величина строго подчиняется нормальному закону распределения с параметрами \bar{T} и $\sigma_{T_{Vi}}$. Для нормального закона распределения

$$T_{\text{в. расч}} = \bar{T}_{Vi} \pm t_{\beta} \sigma_{T_{Vi}}, \quad (3)$$

где \bar{T}_{Vi} – математическое ожидание наработки на отказ; t_{β} – нормированное отклонение для заданного уровня доверительной вероятности β ; $\sigma_{T_{Vi}}$ – среднее квадратическое отклонение случайной величины T_{Vi} .

Плотность распределения вероятностей представлена на рисунке 1.

Существующие подходы по определению оптимальной, рациональной длины гарантийных участков исходят из условия рассмотрения на участке объекта, которым является вагон в целом, с чем нельзя однозначно согласиться.

Поэтому предлагается следующая запись условия оптимальности протяженности гарантийного участка по надежности грузового вагона:

$$l_{\text{опт}} = \min(l_{\text{опт}}^{\text{кп}}, l_{\text{опт}}^{\text{бу}}, l_{\text{опт}}^{\text{тел}}, l_{\text{опт}}^{\text{авт}}, l_{\text{опт}}^{\text{авс}}), \quad (4)$$

где $l_{\text{опт}}^{\text{кп}}, l_{\text{опт}}^{\text{бу}}, l_{\text{опт}}^{\text{тел}}, l_{\text{опт}}^{\text{авт}}, l_{\text{опт}}^{\text{авс}}$ – соответственно протяженности гарантийных участков по условию надежности колесных пар, буксового узла, тележки, автотормозного, автосцепного оборудования.

Тогда,

$$\left. \begin{aligned} l_{\text{опт}}^{\text{кп}} &= -T(V)_{\text{расч}}^{\text{кп}} \ln P(l)/m; \\ l_{\text{опт}}^{\text{бу}} &= -T(V)_{\text{расч}}^{\text{бу}} \ln P(l)/m; \\ l_{\text{опт}}^{\text{тел}} &= -T(V)_{\text{расч}}^{\text{тел}} \ln P(l)/m; \\ l_{\text{опт}}^{\text{авт}} &= -T(V)_{\text{расч}}^{\text{авт}} \ln P(l)/m; \\ l_{\text{опт}}^{\text{авс}} &= -T(V)_{\text{расч}}^{\text{авс}} \ln P(l)/m. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Графически этот процесс, например, для буксового узла, автосцепного устройства и автотормозов, представлен на рисунке 2.

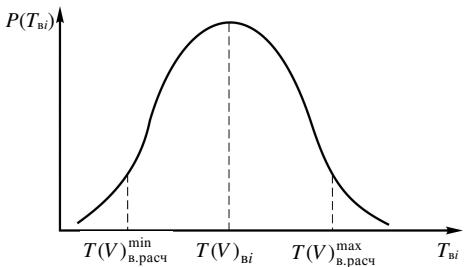
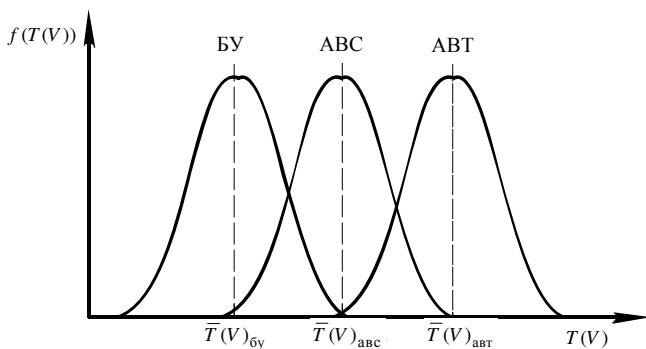


Рисунок 1 – Плотность распределения вероятностей



БУ – буксовый узел; АВС – автосцепка; АВТ – автотормоза

Рисунок 2 – Нормальное распределение «наработки на отказ» по узлам

Для обоснования длин гарантийных участков ПТО ст. Минск-Сортировочный в направлениях Орша, Молодечно, Барановичи, Осиповичи собрана статистика о количестве отцепок грузовых вагонов по родам и узлам неисправностей. Установлено, что наиболее отказаоопасным, а значит, самым затратным по содержанию и первостепенным по вниманию относительно безопасности движения и сохранности груза является полувагон – 35 %, далее парк крытых вагонов – 21 %, цистерны – 21 % и платформы – 20 % (рисунок 3).

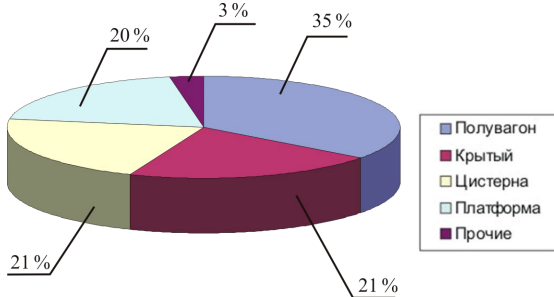


Рисунок 3 – Соотношения отцепок по роду вагонов

По интенсивности отцепок в текущий неплановый ремонт наиболее отказаоопасным узлом является «кузов» (32 % 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 тормозное оборудование (26 % – низкая надежность работы тормозной магистрали, рычажной передачи и воздухораспределителя), тележка (15 % – интенсивный износ трущихся поверхностей рессорного подвешивания, боковой и надрессорной балки), колесные пары (20,5 % – ползуны, навары, неравномерный прокат, износ гребней), авто-

сцепное оборудование (3,5 % – трещины, изломы и разрывы литых деталей, износ и повреждения деталей механизма автосцепки) (рисунок 4).

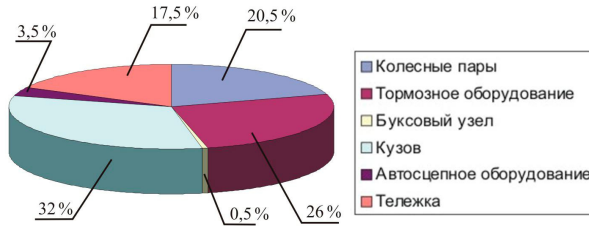


Рисунок 4 – Соотношения отцепок по узлу неисправности

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

– параметр потока отказов вагонов

$$\omega_0 = \frac{n_0}{Nml} \quad [1/\text{ваг} \cdot \text{км}], \quad (6)$$

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

$$T = \frac{Nml}{n_0} \quad [\text{ваг} \cdot \text{км}]; \quad (7)$$

– вероятность безотказного проследования поезда по участку

$$P(l) = e^{-ml/T}. \quad (8)$$

Проведенные исследования и полученные результаты позволили получить расчетные значения случайной величины «наработка на отказ» и длины гарантийных участков по условию обеспечения требуемого уровня надежности. Результаты расчета представлены в таблицах 3 и 4.

Таблица 3 – Результаты расчёта квантилей случайной величины «наработка на отказ»

Доверительная вероятность, $P_{\text{дов}}$	Значение квантилей случайной величины «наработка на отказ», $T_{\text{расч}}$				
	Тележка	Кузов	Тормозное оборудование	Колёсная пара	Автосцепное устройство
0,01	24100	18122	27242	20465	27578
0,10	49905	38391	54712	42833	55397
0,50	121868	96412	128688	105984	130335
0,90	297603	242119	302685	262237	306644
0,95	383317	314336	385738	339025	390814

Таблица 4 – Результаты расчёта длины гарантийных участков

Узел вагона	Квантиль $T_{расч}, P_{дов} = 0,95$	$l_{опт},$ км
Тележка	383317	271
Кузов	314336	223
Тормозное оборудование	385738	273
Колёсная пара	339025	240
Автосцепное устройство	390814	276

Таким образом, при задании условия обеспечения вероятности безотказного проследования составов $P(l) = 0,95$ гарантийные участки обеспечены эксплуатационной надежностью по каждому рассматриваемому узлу. При этом самой низкой надежностью обладает кузов, далее колёсные пары, тележка, тормозное оборудование и автосцепное устройство. Поэтому перво-степенное внимание надо уделять техническому состоянию узлов в соответствии с установленным ранжированием.

Проведение исследований по каждому гарантийному участку полигона железной дороги позволят классифицировать участки по отказоопасности, усовершенствовать территориальную схему размещения пунктов технического обслуживания, усовершенствовать технологические процессы технического обслуживания вагонов, сократить количество отказов и тем самым повысить безопасность движения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Сенько, В. И.** Эксплуатационная надежность грузовых вагонов на гарантийных участках железной дороги / В. И. Сенько, Е. П. Гурский // Механика машин, механизмов и материалов. – 2009. – № 2 (7). – С. 76–79.

2 Планирование работы вагонного хозяйства с использованием методов математического моделирования : учеб. пособие / В. И. Сенько [и др.] ; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2012. – 276 с.

E. P. GURSKIY

Belarusian State University of Transport, Gomel, Belarus

IMPROVEMENT OF TECHNICAL MAINTENANCE OF FREIGHT CARS ON THE BASIS OF PROBABILISTIC ANALYSIS OF THEIR FAILURES

The analysis of the train movement safety non-fulfillment and rolling stock failures at the Belarusian Railway is performed. Based on the statistical data on the operation of guarantee sectors, there were determined and investigated the operational reliability indicators, the length of the sectors satisfying the conditions of ensuring the required reliability was determined either. To calculate the length of the guarantee section, a probabilistic approach was applied: there was carried out the selection of the distribution law of the "work-out for failure" random value and the calculated values for a given confidence level were obtained. The proposed methodology allows to classify the guarantee sectors of the railway polygon, taking into account possible economic losses from the cars' failures on them; to improve the territorial scheme of the maintenance points location; to improve the technological processes of their operation, to reduce failures and to enhance the operational reliability of freight cars.

Получено 15.06.2017