

Иванова Т.В., Петровых В.А., Налабордин Д.Г.

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА НАРАБОТКИ ДО ОТКАЗА ПОЛУВАГОНОВ В МЕЖРЕМОНТНОМ ПЕРИОДЕ

В статье приведены результаты статистической обработки массива данных по наработкам вагона до отказа. В ходе рассмотренного эксперимента установлено, что наработка до отказа таких узлов вагона как колесные пары, кузов, тележки подчиняется нормальному закону распределения. Получены численные значения параметров распределений.

Ключевые слова: надежность, средняя наработка до отказа, грузовой вагон, закон распределения.

Обеспечение высокой эффективности и безопасности использования грузовых вагонов имеет важное народнохозяйственное значение, поскольку является одним из основополагающих направлений экономического развития страны. Так, например, в условиях массовой эксплуатации даже незначительное уменьшение затрат на периодический ремонт вагона может привести к существенной экономии финансовых средств. И наоборот, в условиях острой промышленной конкуренции любое пусть и незначительное увеличение подобных затрат способно привести к утрате внутреннего и международного рынка транспортных услуг и, как следствие, к большим финансовым потерям.

Для того чтобы конкретный технический объект мог эффективно и безопасно использоваться по назначению система технической эксплуатации должна постоянно поддерживать его в работоспособном и готовом к применению состоянии. Этот процесс принято называть управлением состоянием технического объекта. Одной из методологических посылок, на которых основаны многие научные труды, является утверждение о том, что если в рамках системы технической эксплуатации осуществлять эффективное управление состоянием каждого технического объекта в отдельности, то и система технической эксплуатации в целом будет эффективна.

Система технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов предусматривает следующие виды периодических ремонтов и технического обслуживания:

- техническое обслуживание в пути следования ТО (техническое обслуживание);
- текущий отцепочный ремонт в объеме ТР-1 (текущий ремонт);
- текущий отцепочный ремонт в объеме ТР-2;
- деповской ремонт ДР;
- капитальный ремонт КР;
- капитальный ремонт с продлением срока службы КРП.

Для грузовых вагонов применяется комбинированный критерий периодичности проведения плановых ремонтов, учитывающий фактически выполненный объем работы вагоном и календарную продолжительность его использования от постройки или планового ремонта. В настоящее время для основных типов грузовых вагонов ресурс между плановыми ремонтами равен 160 тыс. км., а календарная продолжительность межремонтного периода составляет 2 года.

Вагон – сложная система взаимосвязанных деталей, узлов и агрегатов. Долговечность и эффективность его использования во многом зависит от ресурса, заложенного при проектировании и изготовлении вагона. В процессе использования заложенный ресурс постепенно расходуется: с течением времени снижается эффективность работы вагона, увеличиваются износы, коррозионные и усталостные повреждения.

Источником информации о техническом состоянии парка (выборки) грузовых вагонов могут быть данные реальной эксплуатации или стендовые испытания. Наиболее перспективен и эффективен первый способ получения информации. В условиях пономерного централизованного учета вагонов, который осуществляет Главный вычислительный центр (ГВЦ), можно саму нормальную эксплуатацию считать в качестве своего рода стенда для испытания на надежность вагонных конструкций [1]. Поэтому на результаты подобных эксплуатационных испытаний вагонов следует смотреть как на обратную связь в управлении процессом совершенствования их конструкции.

Методология установления количественных показателей надежности объектов на основании статистических данных об отказах при испытаниях или в процессе эксплуатации предусматривает принятие той или иной теоретической модели отказов (функции распределения наработки до отказа или на отказ) и определение параметров этой функции распределения. Если установлена функция распределения и определены параметры этой функции, тогда вычисляются все необходимые показатели надежности этих объектов (средняя наработка на отказ, гамма-процентная наработка, вероятность безотказной работы за заданное время наработки, остаточный ресурс).

Согласно ГОСТ 27.002-89 [2] наработка до отказа – наработка объекта от начала эксплуатации до возникновения первого отказа. Под средней наработкой грузового вагона до отказа необходимо понимать математическое ожидание его наработки от момента окончания планового ремонта (или постройки) до первой отцепки вагона в текущий ремонт.

Средняя наработка до отказа вагона является важным показателем, который в первую очередь показывает уровень качества производства плановых ремонтов, а также уровень эксплуатационной надежности вагона в целом и его отдельных элементов конструкции.

Естественно, что задача по определению закона распределения наработки до отказа (установления, так сказать, математической природы случайной величины) вагона в межремонтном периоде и его основных числовых характеристик является актуальной для транспортной науки, а также представляет интерес и для промышленности.

Перед авторами статьи стояла именно такая задача. На полигоне Забайкальской железной дороги службой вагонного хозяйства и Забайкальским институтом железнодорожного транспорта проведен эксперимент по определению средней наработки до отказа грузовых вагонов. Получен массив данных по числу отказов и наработкам вагонов до первой отцепки в текущий ремонт. Ниже приведены основные условия данного исследования.

Условие 1. План наблюдений при испытаниях на надежность принят [NUN] – в соответствии с которым под наблюдение ставится N изделий; наблюдения ведутся до отказа всех изделий; при появлении отказа отказавшее изделие не заменяется новым.

Условие 2. По роду подвижного состава для подконтрольной эксплуатации были выбраны полувагоны. Под наблюдение было поставлено 8645 полувагонов.

Условие 3. По элементам конструкции вагона отказы разбивались на шесть групп: колесные пары, буксовый узел, тележки, автосцепное устройство, тормозное оборудование, кузов и рамы. Наблюдения проводились до первой отцепки грузового вагона в текущий ремонт после планового ремонта.

Результаты эксперимента по числу отказов в зависимости от составных частей конструкции представлены в таблице 1.

Таблица 1. Число отказов полувагонов по элементам конструкции

Отказавший узел	Число отказов	Доля в выборке
Колесные пары	1565	18%
Буксовый узел	996	12%
Тележка	2421	28%
Автосцепное устройство	240	3%
Тормозное оборудование	462	5%
Кузов и рама	2961	34%
ИТОГО	8645	100%

Таблица 2. Результаты выравнивания наработки полувагона до отказа нормальному закону распределения

Наименование	Элемент конструкции			
	Колеса	Тележки	Кузов и рама	Вагон
Закон распределения наработки до отказа	Нормальный			
Плотность вероятностей	$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}}$			
Параметры распределения (математическое ожидание, среднее квадратичное отклонение)	$\begin{cases} \bar{x} = 93072 \\ \sigma = 34904 \end{cases}$	$\begin{cases} \bar{x} = 89723 \\ \sigma = 37334 \end{cases}$	$\begin{cases} \bar{x} = 79890 \\ \sigma = 36605 \end{cases}$	$\begin{cases} \bar{x} = 84934 \\ \sigma = 38151 \end{cases}$

Из таблицы 1 видно, что наибольшее число отказов зарегистрировано по колесным парам, тележкам, кузову и раме вагона. Полученных данных оказалось достаточно, чтобы выполнить аппроксимацию экспериментальных данных, определить закон распределения случайной величины и его числовые характеристики (таблица 2).

На рис. 1 – 3 представлены гистограммы распределения наработки элементов полувагона до отказа в сравнении с теоретическими кривыми, что визуализирует близость распределения экспериментальных данных нормальному закону распределения. Справедливость гипотез о распределении наработки вагона до отказа нормальному закону распределения в ходе расчетов подтверждена по критерию Пирсона.

Из-за малого числа отказов вагонов по автосцепному устройству и автотормозному оборудованию, а также из-за особенностей ремонта буксовых узлов (возможность проведения промежуточной ревизии при плановых видах ремонта) достаточно точно определить закон распределения наработки до отказа данных элементов конструкции пока не представляется возможным, однако накопление массива данных в этом направлении постоянно производится. При этом статистически доказано, что в целом наработка до отказа по всем элементам конструкции вагона подчиняется также нормальному закону распределения (рис. 4).

Безотказная наработка зависит от большого числа факторов, часть которых не может быть проконтролирована, а остальные заданы с той или иной степенью неопределенности. Безотказная работа конкретного взятого вагона зависит от качества сырья, материалов, заготовок и полуфабрикатов, от достигнутого уровня технологии и степени стабильности технологического процесса, от

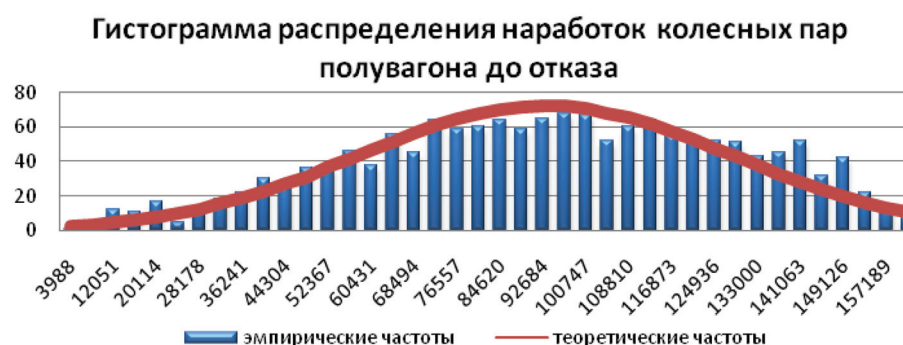


Рис. 1. Гистограмма распределения наработки колесных пар полувагона до отказа

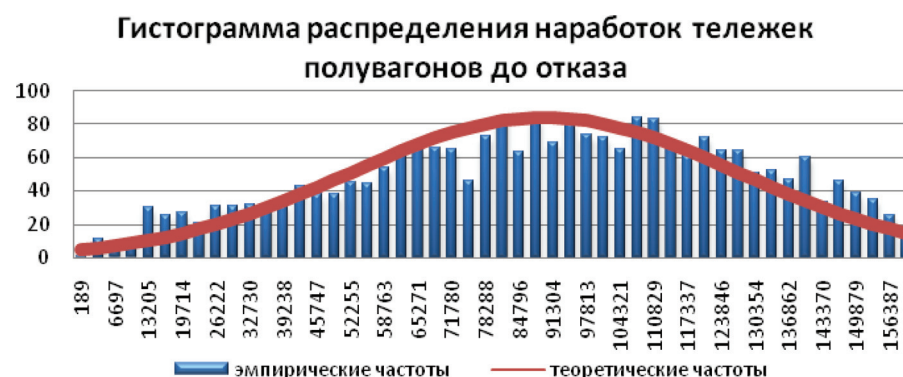


Рис. 2. Гистограмма распределения наработки тележек полувагона до отказа

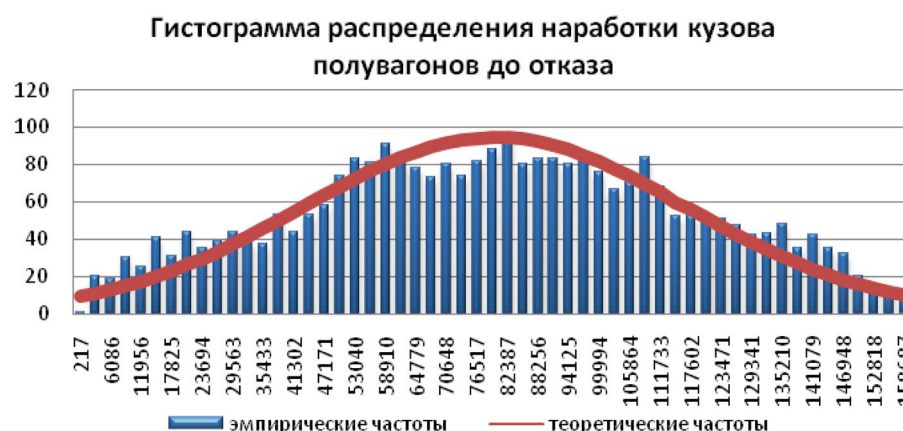


Рис. 3. Гистограмма распределения наработки кузова полувагона до отказа

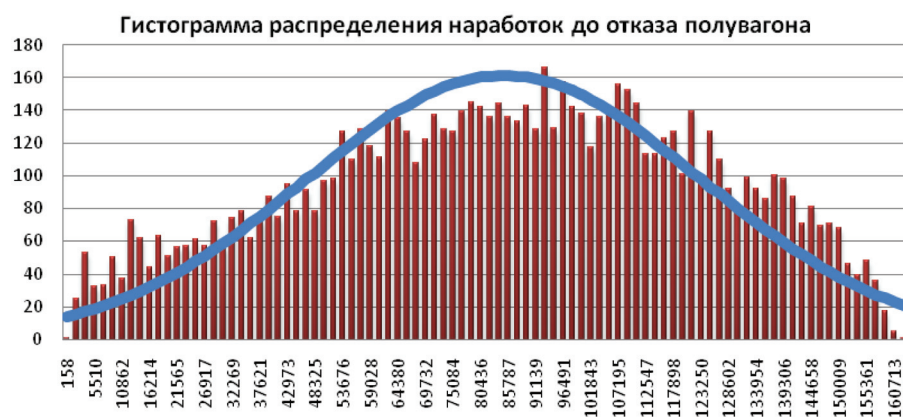


Рис. 4. Гистограмма распределения наработки полувагона до отказа

уровня технологической дисциплины, от выполнения всех требований по применению объекта по назначению. Перечисленные выше факторы, влияя на работоспособность составных частей вагона, определяют его работоспособность в целом.

Исследование показывает, что наработка до отказа имеет значительный статистический разброс. Этот разброс служит, своего рода, характеристикой технологической культуры и дисциплины, а также достигнутого уровня технологии ремонтных предприятий. Разброс наработки до первого отказа можно уменьшить, а ее значение можно увеличить путем повышения качества ремонта, применения современных технологий, неукоснительного соблюдения требований ремонтной документации, индивидуальной и пооперационной приемки каждого вагона из ремонта. Такой подход осуществляется, как правило, для особо ответственных объектов (например, для авиационной техники).

Результаты статистических расчетов показывают, что средняя наработка до отказа полувагона (в целом) на сегодняшний день равна 84934 км. И как показывает практика это событие можно считать практически достоверным, то есть которое обязательно произойдет. Необходимо также отметить, что существующая система технического обслуживания и ремонта, а также уровень качества плановых ремонтов не обеспечивают безотказную работу подвижного состава в межремонтном периоде.

Литература

1. Надежность рельсового нетягового подвижного состава. / П.А. Устич, В.А. Карпычев, М.Н. Овечников.; Под ред. П.А. Устича. – М.: УМЦ МПС России, 2004. – 416 с.
2. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия, термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 45 с.