

РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕЗОТКАЗНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ ТЕПЛОВОЗОВ СЕРИИ 2ТЭ25К^М

Изложена методика расчета показателей безотказности оборудования тепловозов серии 2ТЭ25К^М по результатам наработок до и между отказами в процессе эксплуатации. Апробация осуществлена на примере результатов исследования более 3000 отказов 145 тепловозов серии 2ТЭ25К^М, эксплуатирующихся на Московской и Северо-Кавказской железных дорогах в период с 2015 по 2018 гг.

Ключевые слова: надежность, показатели безотказности, тяговый подвижной состав, отказы, тепловоз серии 2ТЭ25К^М, оборудование

DOI: 10.53883/20749325_2021_03_71



А.А. Воробьев



В.А. Карпов

Начиная с 2015 года, на сети железных дорог России стали вводить в эксплуатацию двухсекционные магистральные тепловозы серии 2ТЭ25К^М производства Брянского машиностроительного завода. Поскольку новый подвижной состав должен обеспечивать требуемые технико-экономические и тягово-энергетические показатели работы, то в настоящее время наибольший интерес представляет проведение анализа надежности данной серии тепловозов, как одной из самых перспективных на железных дорогах России.

В данной статье выполнена оценка показателей безотказности оборудования тепловозов серии 2ТЭ25К^М по результатам наработок до и между отказами в процессе эксплуатации [3].

Оценка изменения технического состояния оборудования с увеличением наработки выполнена на

основе определения параметра потока отказов — показателя безотказности [1].

В данной работе принимается, что технический объект — это оборудование тепловозов серии 2ТЭ25К^М, взятое под наблюдение.

В качестве исходных данных для проведения исследования было использовано 1316 отказов 72 тепловозов серии 2ТЭ25К^М, эксплуатирующихся на Московской железной дороге в период с 2015—2018 гг. и 2008 отказов 73 тепловозов этой же серии, эксплуатирующихся на Северо-Кавказской железной дороге за аналогичный период. Предварительно отказы разделены между собой по характеру выполняемой работы отказавшего оборудования на 25 подгрупп [5] (аккумуляторная батарея, высоковольтная камера, дизель, колесные пары, компрессор, система поддержания климата, корпус, механическая часть,

Воробьев Александр Алексеевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Электропоезда и локомотивы» Института транспортной техники и систем управления Российского университета транспорта (ИТТСУ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: надежность и совершенствование системы ремонта и эксплуатации тягового подвижного состава. Автор более 190 научных работ, в том числе одной монографии, двух учебников и более десяти учебных пособий.

Карпов Валерий Александрович, кандидат технических наук, начальник Приволжского центра метрологии структурного подразделения Приволжской железной дороги-филиала ОАО «РЖД». Область научных интересов: неразрушающий контроль, надежность тягового подвижного состава, метрология. Автор шести научных работ, в том числе одного учебного пособия.

Маяков Денис Михайлович, аспирант кафедры «Электропоезда и локомотивы» Института транспортной техники и систем управления Российского университета транспорта (ИТТСУ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: надежность тягового подвижного состава. Автор пяти научных работ, в том числе одного учебного пособия.

мотор-вентилятор компрессора, мотор-вентилятор тягового электродвигателя, мотор-вентилятор холодильной камеры, освещение, песочная система, радио оборудование, вспомогательная электрическая цепь, электрическая цепь (РЗ), силовая электрическая цепь, система безопасности, система управления, стартер-генератор, тормозная система, турбокомпрессор, тяговый электродвигатель, тяговый генератор, холодильная камера).

Определение параметра потока отказов осуществляется на основе функции восстановления $H(t)$ — среднего числа отказов $m(t)$ одного экземпляра технического объекта за наработку t :

$$H(t) = M(m(t)), \quad (1)$$

где $m(t)$ — число отказов одного экземпляра оборудования за наработку t .

Для опытного определения $H(t)$ наблюдают за N экземплярами однотипного оборудования и фиксируют число отказов каждого из них в течение наработки t .

Зависимость $\bar{m}(t)$ представляет собой ступенчатую

линию и возрастает скачком на $\frac{1}{N}$ в момент очередного отказа [1] (рис. 1).

Оценка среднего числа отказов, приходящихся на один экземпляр рассматриваемого оборудования за наработку t , определяется следующим образом:

$$\bar{m}(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N m_i(t), \quad (2)$$

где $m_i(t)$ — число отказов i -го экземпляра оборудования за наработку t .

После выполнения расчетов отдельного оборудования тепловозов серии 2ТЭ25К^М на основании

исходных данных по отказам построена статистическая зависимость $H(t)$. Величина $H(t)$ сохраняет постоянное значение в промежутке между отказами отдельных экземпляров оборудования и возрастает скачком на $\frac{1}{N}$ в момент очередного отказа.

Выполнив аппроксимацию, получаем теоретическую функцию восстановления, которая далее используется для определения функции параметра потока отказов (рис. 2, 3).

По функции восстановления определяется параметр потока отказов технического оборудования [1]:

$$\omega(t) = \frac{dH(t)}{dt}, \quad (3)$$

который характеризует изменение скорости появления числа отказов при увеличении наработки.

Статистическая оценка параметра потока отказов в интервалах наработки оборудования Δt имеет вид:

$$\omega^*(t) = \frac{\Delta m}{N \cdot \Delta t}, \quad (4)$$

где Δm — число отказов рассматриваемого оборудования в интервале Δt .

Результат вычисления расчетной функции параметра потока отказов оборудования тепловозов серии 2ТЭ25К^М Московской железной дороги представлен в табл. 1 и Северо-Кавказской железной дороги — в табл. 2.

Данные, полученные на основании вычисления статистической функции параметра потока отказов оборудования тепловозов серии 2ТЭ25К^М Московской железной дороги и Северо-Кавказской железной дороги, представлены в табл. 3 и 4 соответственно.

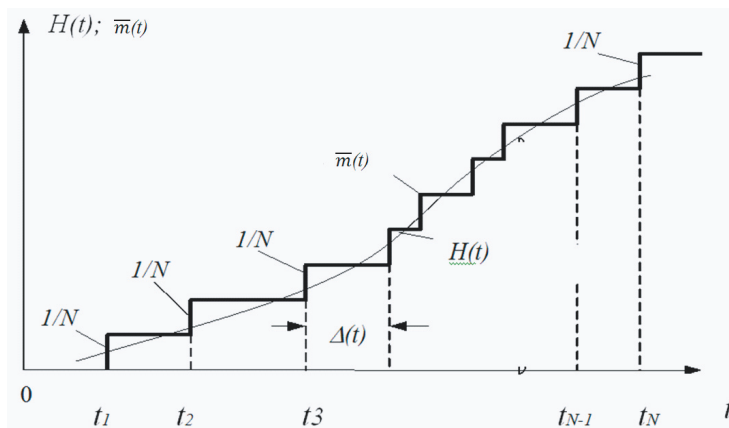


Рис. 1. Функция восстановления

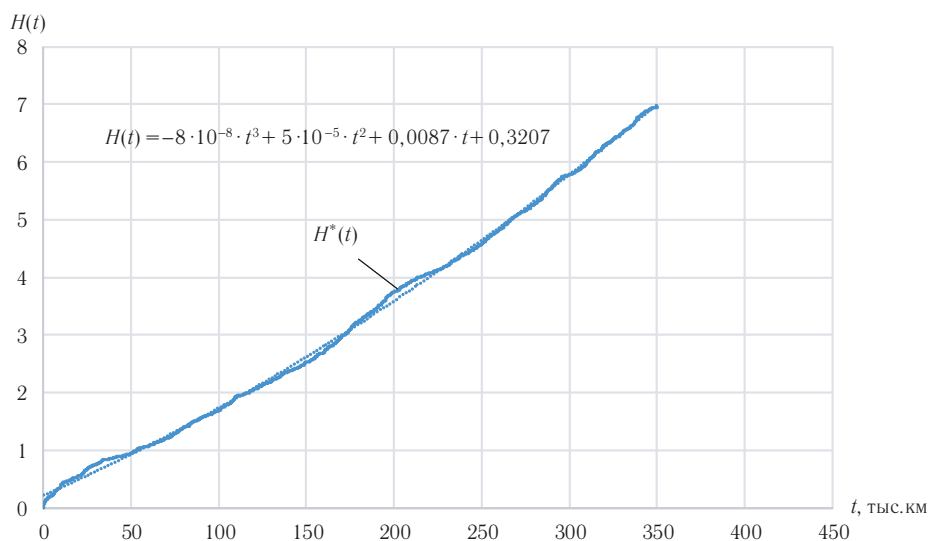


Рис. 2. Эмпирическая и теоретическая функции восстановления оборудования тепловозов серии 2ТЭ25К^М, эксплуатирующихся на Московской железной дороге

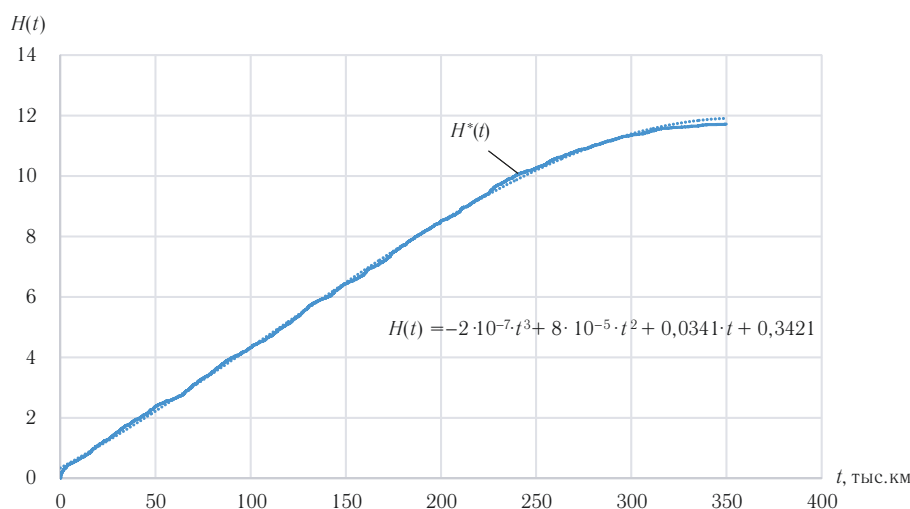


Рис. 3. Эмпирическая и теоретическая функции восстановления оборудования тепловозов серии 2ТЭ25К^М, эксплуатирующихся на Северо-Кавказской железной дороге

На основании полученных данных формируется столбчатая диаграмма в соответствии с полученным расчетом статистической функции параметра потока отказов $\omega_i^*(t)$ оборудования тепловозов серии 2ТЭ25К^М, а также одновременно на общую координатную плоскость наносится и расчетная $\omega(t)$ для Московской железной дороги (рис. 4) и для Северо-Кавказской железной дороги (рис. 5).

Исходя из структуры и вида графика функции восстановления, представленных на рис. 1,2, можно сделать вывод, что число экземпляров отказавшего оборудования с увеличением наработки на

Северо-Кавказской железной дороге выше, чем на Московской железной дороге. Тем не менее, скорость накопления отказов с увеличением наработки на Северо-Кавказской дороге падает, что нельзя сказать для Московской железной дороги. Также это можно проследить на графиках функции параметра потока отказов оборудования, изображенных на рис. 4,5.

Полученные результаты и зависимости позволят рассчитать целесообразные сроки восстановления и замены оборудования тепловозов, рациональные межремонтные пробеги с учетом фактических условий эксплуатации на железной дороге.

Таблица 1

Результат вычисления расчетной функции параметра потока отказов оборудования тепловозов серии 2ТЭ25К^М Московской железной дороги

t , тыс. км	$\omega(t)$, 1/тыс. км
0	0,0133000
50	0,0152925
100	0,0172700
150	0,0192325
200	0,0211800
250	0,0231125
300	0,0250300
350	0,0269325

Таблица 2

Результат вычисления расчетной функции параметра потока отказов оборудования тепловозов серии 2ТЭ25К^М Северо-Кавказской железной дороги

t , тыс. км	$\omega(t)$, 1/тыс. км
0	0,0341
50	0,0406
100	0,0441
150	0,0446
200	0,0421
250	0,0366
300	0,0281
350	0,0166

Таблица 3

Результат вычисления статистической функции параметра потока отказов оборудования тепловозов серии 2ТЭ25К^М Московской железной дороги

Интервал t , тыс. км	Количество типов оборудования	Количество оборудования	N	Δt	Δm	ω_i^* , 1/тыс. км
0–50	22	4752	216	50	165	0,0153
50–100	20	4608	230	50	131	0,0114
100–150	20	5184	259	50	136	0,0105
150–200	26	5272	203	50	200	0,0197
200–250	20	4464	223	50	153	0,0137
250–300	24	4984	208	50	202	0,0195
300–350	25	5128	205	50	222	0,0216

Таблица 4

Результат вычисления статистической функции параметра потока отказов оборудования тепловозов серии 2ТЭ25К^М для Северо-Кавказской железной дороги

Интервал t , тыс. км	Количество типов оборудования	Количество оборудования	N	Δt	Δm	ω_i^* , 1/тыс. км
0–50	23	5402	235	50	405	0,0345
50–100	27	6132	227	50	344	0,0303
100–150	24	5546	231	50	389	0,0337
150–200	23	5254	228	50	360	0,0315
200–250	21	5110	243	50	288	0,0237
250–300	22	5256	239	50	178	0,0149
300–350	18	4088	227	50	59	0,0052

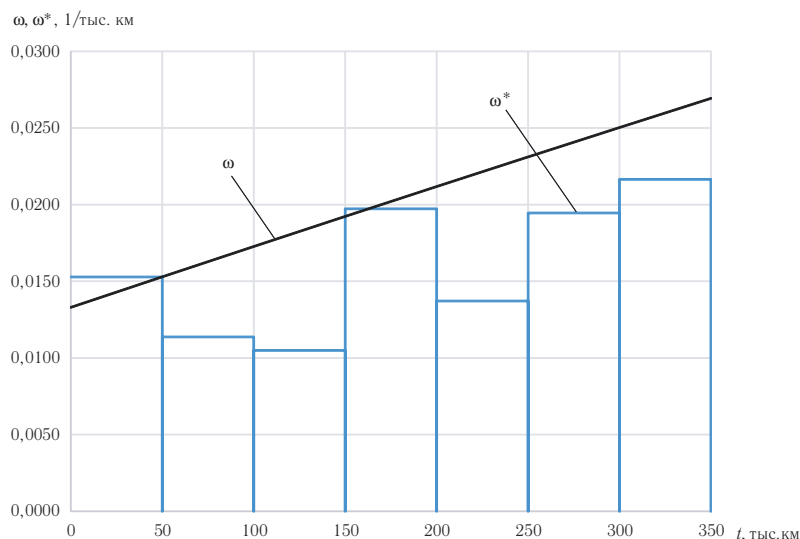


Рис. 4. Расчетная и статистическая функции параметра потока отказов оборудования тепловозов серии 2ТЭ25К^М, эксплуатирующихся на Московской железной дороге

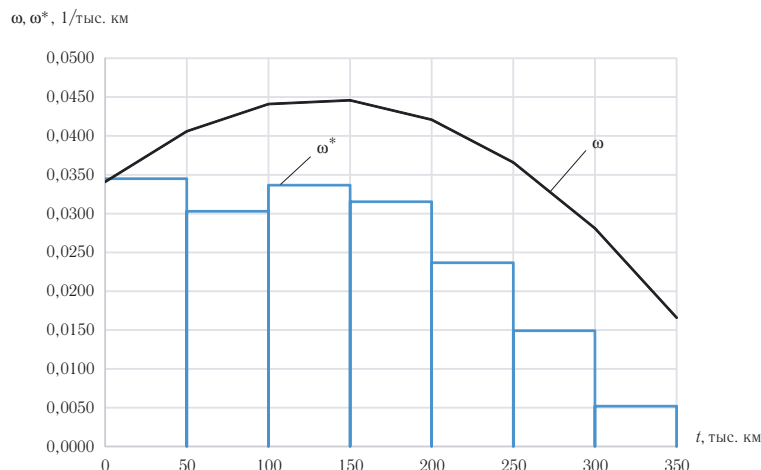


Рис. 5. Расчетная и статистическая функции параметра потока отказов оборудования тепловозов серии 2ТЭ25К^М, эксплуатирующихся на Северо-Кавказской железной дороге

Литература

1. Надежность подвижного состава / А.А. Воробьев, В.А. Четвергов, С.В. Шевцов [и др.]. — Москва: ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2017. — 301 с. — ISBN 978-5-89035-978-0. — Текст: непосредственный.
2. Воробьев, А.А. Определение ресурса узлов и деталей тягового подвижного состава по усеченной выборке наработок на отказ / А.А. Воробьев, Р.А. Постников. — Текст: непосредственный // Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте: труды III научно-практической конференции. — Москва: МИИТ, 2000. — С.89–93.
3. ГОСТ 27.002-2013. Надежность в технике. Термины и определения = Dependability in technics. Terms and definitions: межгосударственный стандарт: издание официальное: принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 28 декабря 2015 г. № 83-П): дата введения 2017-03-01: разработан Обществом с ограниченной ответственностью «Институт надежности машин и технологий» (ООН «ИНМиТ»). — Москва: Стандартиформ, 2016. — 23 с.
4. Лакин, И.К. Применение статистических методов при диагностировании тепловозов / И.К. Лакин, А.А. Аболмасов, В.А. Мельников. — Текст: непосредственный // Известия Транссиба. — 2015. — № 1. — С. 20–29.
5. Магистральный грузовой двухсекционный тепловоз 2ТЭ25К^М. Руководство по эксплуатации / В.Ю. Гусев [и др.]. В 4 частях, 2015. — 542 с. — Текст: непосредственный.