

МЕТОДИКА ДЛЯ ОЦЕНКИ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСА ОБОРУДОВАНИЯ ЛОКОМОТИВОВ ПО ЗАМЕРАМ КОНТРОЛИРУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ



Ю.А. Кольцов



А.А. Воробьев

В настоящее время особое значение имеет состояние тягового подвижного состава. В данной статье приведена более простая для практического применения методика анализа, оценки и определения ресурса оборудования по выборкам контролируемых параметров. Методика основана на группировках конкретных параметров выбранного оборудования.

Ключевые слова: железная дорога, параметрическая надежность, ресурс, колесная пара, показатели долговечности

DOI: 10.53883/20749325_2021_03_26

В процессе эксплуатации тягового подвижного состава (ТПС), в конкретных условиях эксплуатации, фиксируется большое количество информации, характеризующей изменение технического состояния оборудования по мере увеличения его наработки [1]. Эта информация может быть получена в виде: контролируемых параметров, измеряемых различными приборами и устройствами; наработок оборудования до отказа и между его отказами; параметров диагностирования, получаемых с помощью бортовых и стационарных средств диагностирования.

С целью решения задач, направленных на повышение надежности оборудования ТПС, увеличения его межремонтных пробегов и, соответственно, снижения

затрат на техническое содержание, наибольший интерес представляет оборудование, которое лимитирует межремонтные пробеги ТПС [2;3].

В настоящее время к такому оборудованию относятся колесные пары и тяговые электродвигатели. Так пробег до текущего ремонта ТР-3 лимитирует минимальная величина толщины бандажа (диаметра колеса для цельнокатаных колес) и техническое состояние изоляции обмоток тяговых электродвигателей. Это оборудование в первую очередь требует восстановления работоспособности.

Важнейшей составляющей для достоверной оценки показателей безотказности и долговечности оборудования является обеспечение качества и эффективно-

Кольцов Юрий Александрович, преподаватель кафедры «Электропоезда и локомотивы» Института транспортной техники и систем управления Российского университета транспорта (ИТТСУ РУТ (МИИТ)), начальник участка по гарантийному обслуживанию электропоездов ООО «Уральские локомотивы». Область научных интересов: организация и совершенствование системы ремонта и технического обслуживания подвижного состава, надежность подвижного состава. Автор десяти научных работ.

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.

Бодриков Денис Игоревич, ассистент кафедры «Электропоезда и локомотивы» Института транспортной техники и систем управления Российского университета транспорта (ИТТСУ РУТ (МИИТ)), начальник отдела Проектно-конструкторского бюро локомотивного хозяйства – филиала ОАО «РЖД». Область научных интересов: имитационное моделирование, оптимизация работы станции стыкования, организация системы эксплуатации и ремонта. Автор 11 научных работ.

Смирнов Валентин Петрович, доктор технических наук, профессор кафедры «Тяговый подвижной состав» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: повышение надежности локомотивов. Автор 150 научных работ. Имеет три патента на изобретения.

сти исходной информации [4–7], которые определяются следующими факторами: представительность и достоверность исходных данных, полученных в конкретных условиях эксплуатации ТПС; применение эффективных современных методов обработки исходных данных, позволяющих при оценке показателей надежности «извлечь» максимальную достоверность полученных результатов.

Выполняя расчет показателей надежности оборудования, следует понимать, что значения контролируемых параметров колесных пар невозможно отслеживать непрерывно в виде непрерывных реализаций. Обычно замеры осуществляют при проведении очередного осмотра и замеров колесных пар в установленные для этого сроки.

При отслеживании наработок подвижного состава и проведении качественных замеров контролируемых значений колесных пар от их полного восстано-

вления, то на выходе мы получим реализацию контролируемого параметра. При выходе контролируемого параметра за допуск, происходит отказ и браковка колесной пары. На практике контролируемые параметры колесных пар разделяют на две категории: увеличивающийся (прокат); уменьшающийся (толщина бандажа, толщина гребня бандажа) [8].

Реализация контролируемых параметров приведена на рис. 1.

Проведение периодических замеров параметров колесных пар позволяет определить показатели их надежности, а также сделать выводы об их техническом состоянии.

В настоящее время замеры параметров бандажей колесных пар локомотивов производят с периодичностью, не превышающей одного раза за тридцать календарных дней. На графике, по оси абсцисс, отмечается контролируемый параметр пробега локомотива.

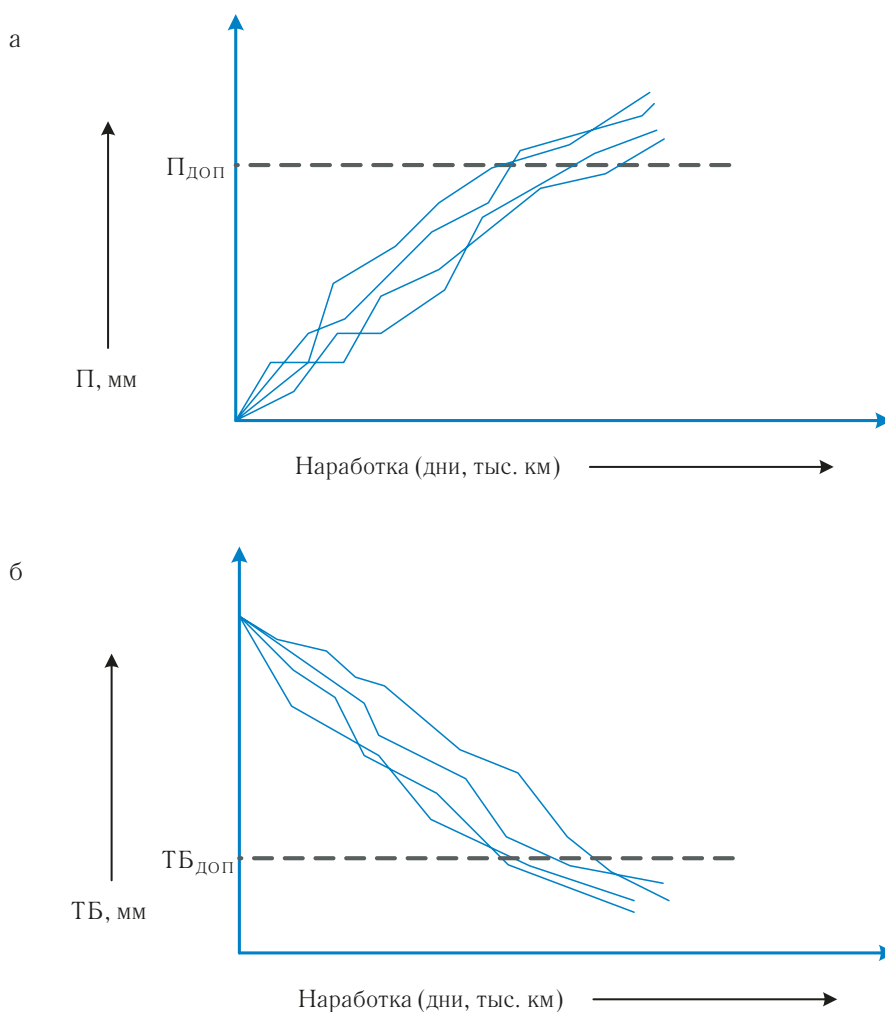


Рис. 1. Реализация контролируемых параметров:
а – увеличение проката бандажа; б – уменьшение толщины бандажа

Известно, что за одинаковый промежуток времени локомотивы могут преодолеть различное расстояние, в силу тех или иных причин. Однако разбросом значений пробега различных локомотивов можно пренебречь и при расчетах определять пробеги локомотивов до очередного осмотра и замера параметров бандажей колесных пар, как одинаковые. При этом значения измерений будут формировать эквидистантные ряды наблюдений [9].

В настоящее время для расчетов показателей безотказности применяется методика, основанная на группировке наработок бандажей, представленной в [10]. Но у этого решения есть некоторые минусы. Например, при смене бандажей колесных пар разброс замеров не получится контролировать в любых пределах измерения.

С целью получения максимальной достоверности оценок показателей надежности, в данной работе предложена новая методика систематизации и обработки данных контролируемых параметров оборудования, характеризующих его техническое состояние по мере увеличения наработки.

План необходимых действий по данной методике приведен ниже.

1. Формируется поле допуска контролируемого параметра, которое разбивается на интервалы такой величины, чтобы выборки наработок, при которых получены значения контролируемых параметров, были представительными.

2. В соответствующих интервалах формируются выборки значений контролируемых параметров, находящиеся в пределах рассматриваемого интервала разбиения поля допуска ($x_{\text{ном}} - x_{\text{доп}}$). Реализация формирования выборок значений контролируемых параметров представлена на рис. 2.

3. Формируются выборки наработок, при которых получены соответствующие значения контролируемых параметров в пределе рассматриваемого интервала разбиения: $t_1, t_2, \dots, t_i, \dots, t_{n_j}$, где t_i — наработка, соответствующая i -му замеру в пределах рассматриваемого j -го интервала разбиения поля допуска; n_j — величина выборки значений наработок для j -го интервала, соответствующая выборке значений контролируемого параметра.

Соответствующая выборка значений контролируемого параметра будет представлять собой: $x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_{n_j}$.

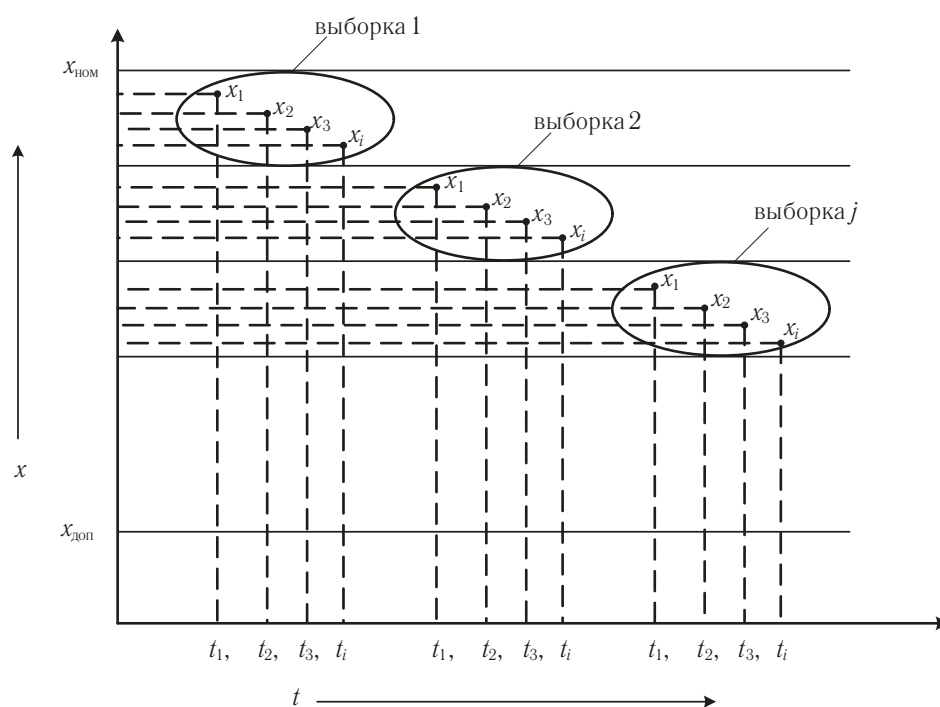


Рис. 2. Реализация формирования выборок значений контролируемых параметров в пределах поля допуска (для уменьшающегося контролируемого параметра)

Методика расчета показателей безотказности

Наработка — непрерывная случайная величина и ее закон распределения описывается соответствующей плотностью распределения.

Закон распределения выбирается в зависимости от физического процесса, который влияет на изнашивание агрегатов и узлов.

Установлено, что случайная величина наработки описывается нормальным законом распределения, что соответствует действию закона больших чисел.

В соответствии с этим законом, каждый из большого числа случайных факторов оказывает одинаковое влияние на значение случайной величины, что соответствует распределению её по нормальному закону.

Для прогнозирования изменения наработки бандажей колесных пар с целью оценки показателей долговечности, определяются параметры и значения числовых характеристик контролируемого параметра. Числовые характеристики наработки и вид закона распределения позволяют прогнозировать процесс изменения величин наработки по мере увеличения пробега ТПС, для определения показателей долговечности (гамма-процентного ресурса) бандажей. Для этой цели определяют математическое ожидание m_t и среднеквадратическое отклонение σ_t наработки.

Эту зависимость в общем виде можно представить, как нелинейную функцию $y=f(a_1, a_2, \dots, a_s, t_i)$ аргумента t_i , в состав которой входит s параметров $a_1, a_2, \dots, a_s, t_i$. Используя эту функцию, нужно аппроксимировать практическую регрессию, заданную в виде N

точек (t_i, y_i) при $i=1, 2, \dots, n$, где y — какой-либо параметр наблюдаемого закона распределения.

Параметры экспоненциального, равномерного и гамма распределения выражаются через математическое ожидание и дисперсию. Они же являются и параметрами нормального закона распределения.

Метод наименьших квадратов используется для нахождения параметров функции y :

$$z(a_1, a_2, \dots, a_s) = \sum_{i=1}^n (f(a_1, a_2, \dots, a_s, x_i) - y_i)^2 \rightarrow \min. \quad (1)$$

Зависимости $m_t(x)$ и $\sigma_t(x)$ изнашиваемых бандажей электроподвижного состава, представляются в виде линейных функций. Чем меньше толщина бандажа, тем больше среднее значение наработки (рис. 3).

На практике полученные значения толщины бандажей представляют зону нормальной эксплуатации (линейную), что представлено на рис. 4, 5.

Эмпирические зависимости характеристик $m_t(x)$ и $\sigma_t(x)$, согласно рис. 4, 5 изнашиваемых бандажей колесных пар, аппроксимируются функцией вида:

$$y = ax + b. \quad (2)$$

В соответствии с методом наименьших квадратов будет:

$$\sum_{i=1}^n ([y_i - (ax_i + b)]^2) \rightarrow \min, \quad (3)$$

где $y_i = \begin{cases} m_t \\ \sigma_t \end{cases}$ при аппроксимации зависимостей $\begin{cases} m(x) \\ \sigma(x) \end{cases}$.

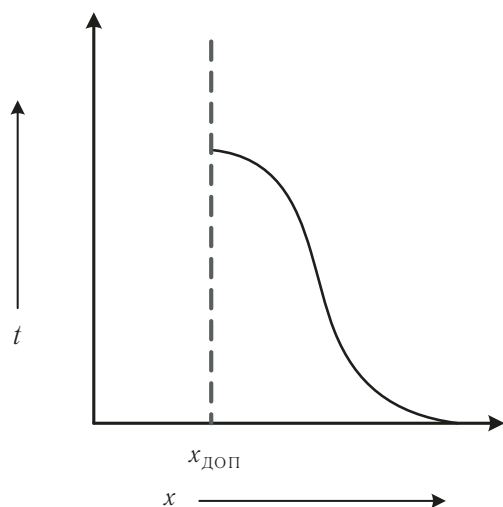


Рис. 3. Зависимость толщины бандажа от наработки

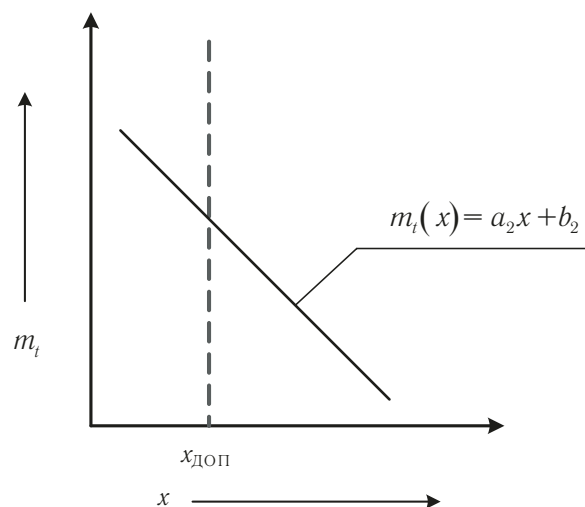


Рис. 4. Зависимость математического ожидания наработки от толщины бандажа в заданном интервале

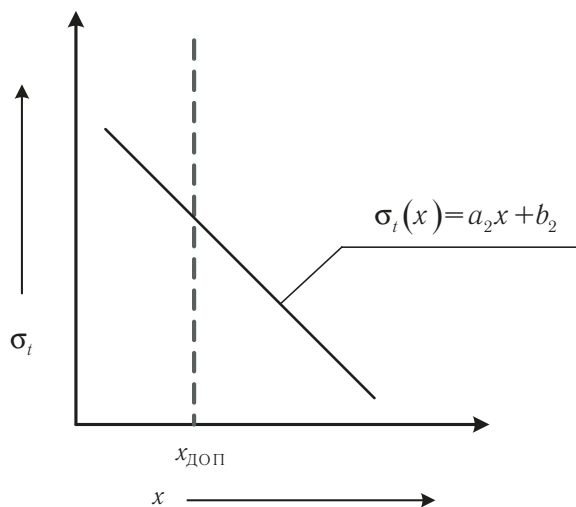


Рис. 5. Зависимость среднеквадратического отклонения наработки от толщины бандажа в заданном интервале

Коэффициент a линейной функции по методу наименьших квадратов определяется как:

$$a = r_{yx} \frac{\sigma_y}{\sigma_x}, \quad (4)$$

где r_{yx} — коэффициент корреляции случайных величин y и x ;

σ_y, σ_x — среднеквадратические отклонения, соответственно, y и x , находящиеся по формулам:

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (y_i - m_y)^2}, \quad (5)$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - m_x)^2}, \quad (6)$$

где m_x — среднее значение пробега, $m_x = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$;

m_y — среднее значение величины y , $m_y = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i$.

Коэффициент b в уравнении регрессии определяется:

$$b = m_y - a m_x. \quad (7)$$

Коэффициент корреляции r_{yx} характеризует тесноту линейной связи между случайными величинами y и x , что представлено в формуле:

$$r_{yx} = \frac{k_{yx}}{\sigma_y \sigma_x} = \frac{\alpha_{11}(y, x) - m_y m_x}{\sigma_y \sigma_x}, \quad (8)$$

где $\alpha_{11}(y, x)$ — второй смешанный начальный момент

случайных величин y и x , $\alpha_{11}(y, x) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i x_i$.

Исходя из зависимостей $m(x)$ и $\sigma(x)$, можно сделать анализ процесса изнашивания бандажей колесных пар и определить значения показателей долговечности.

Для того, чтобы спрогнозировать процесс изнашивания бандажей, необходимо экстраполировать зависимости $m(x)$ и $\sigma(x)$ в область больших наработок.

Далее рассчитываются характеристики $m_t(x)$ и $\sigma_t(x)$ распределения толщин бандажей в зоне экстраполяции, путем подстановки в выражения значений пробега x . После чего строят функцию распределения для известного значения допуска на толщину бандажа ($x_{\text{доп}} = 45$ мм).

Выводы

1. Предложена методика для анализа показателей безотказности и долговечности оборудования ТПС.

2. В дальнейшем, по результатам расчета показателей безотказности при группировке толщин бандажей колесных пар ТПС, имеется возможность сравнения данной методики с методикой, основанной на группировке наработок бандажей.

3. Расчеты по данной методике имеют преимущества над методикой группировки наработок бандажей, т.к. при смене бандажей колесных пар разброс замеров можно контролировать в любых пределах измерения.

4. Приведенная методика позволит оценить параметрическую надежность элементов различного оборудования ТПС и при ограниченном количестве одноименного оборудования на одном локомотиве. Помимо бандажей колесных пар по данной методике можно оценить, к примеру, надежность контактных вставок токоприемников. 

Литература

1. Скребков, А.В. Определение оптимальной структуры ремонтного цикла электропоездов в конкретных условиях эксплуатации: специальность 05.22.07 «Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Скребков Алексей Валентинович; Моск. гос. ун-т путей сообщ. (МИИТ) МПС РФ. — Москва, 2003. — 137 с. — Текст: непосредственный.

2. Воробьев, А.А. Оценка ресурса оборудования ТПС / А.А. Воробьев, А.В. Скребков. — Текст: непосредственный // Мир транспорта / МИИТ. — М. — 2012. — № 5. — С. 38–42.
3. Воробьев, А.А. Рационализация системы ремонта ТПС / А.А. Воробьев, А.В. Горский, А.В. Скребков. — Текст: непосредственный // Мир транспорта. — 2011. — № 5. — С. 64–68.
4. Данковцев, В.Т. Техническое обслуживание и ремонт локомотивов : учебник для студентов вузов железнодорожного транспорта / В.Т. Данковцев, В.И. Киселев, В.А. Четвергов. — Москва: Учебно-метод. центр по образованию на ж.-д. трансп., 2007. — 556 с. (Высшее профессиональное образование. Локомотивы); — ISBN 978-5-89035-531-7. — Текст: непосредственный.
5. Надежность подвижного состава: учебник / А.А. Воробьев, А.В. Горский, А.Д. Пузанков и др. — Москва: Учебно-метод. центр по образованию на ж.-д. трансп., 2017. — 301 с. — ISBN 978-5-89035-978-0. — Текст: непосредственный.
6. Горский, А.В. Надежность электроподвижного состава: учебник для вузов ж.-д. транспорта / А.В. Горский, А.А. Воробьев. — Москва: Маршрут, 2005. — 303 с. ISBN 5-89035-170-2. — Текст: непосредственный.
7. Галкин, В.Г. Надежность тягового подвижного состава: учебное пособие для вузов ж.-д. транспорта / В.Г. Галкин, В.П. Парамзин, В.А. Четвергов. — Москва: Транспорт, 1981. — 184 с. — Текст: непосредственный.
8. Кольцов, Ю.А. Оценка ресурса колесных пар электровозов по информации о замерах контролируемых параметров / Ю.А. Кольцов, А.В. Скребков. — Текст: непосредственный // Транспорт Урала. — 2019. — № 4 (63). — С. 49–52.
9. Исаев, И.П. Выбор измерителя наработки электровоза для определения ресурса изнашиваемых деталей / И.П. Исаев, А.В. Горский, А.А. Воробьев. — Текст: непосредственный // Вестник ВНИИЖТ. — 1980. — № 2.
10. Анализ процесса изнашивания и определения ресурса узлов электроподвижного состава: учебное пособие по дисциплине «Эксплуатация и ремонт ЭПС» / А.А. Воробьев, А.В. Горский, И.К. Лакин, С.В. Володин. — Москва: МИИТ, 2001. — 35 с. — Текст: непосредственный.