

МАХСУС ЎЗИЮРАР ҲАРАКАТ ТАРКИБИНИНГ ЭЛЕКТР МЕХАНИК ЖИҲОЗЛАНИШИНИНГ ИШОНЧЛИЛИК КЎРСАТКИЧИНИ БАҲОЛАШ

Муҳамедова Зиёда Гафурджановна,

PhD докторанти, «Транспорт логистикаси ва сервис» кафедраси доценти

Тошкент темир йўл транспорти муҳандислари институти

Аннотация. Махсус ўзиюрар ҳаракатланувчи таркибнинг ишончлилик асосий кўрсаткичлари бўлган ишдан чиққунга қадар ўрта иш вақти, ишдан чиқиш жадаллиги, гамма – фоиз захираларни аниқлаш усуллари ва кўрсаткичларнинг сон қийматлари баҳоланган. Асинхрон двигателлар, муфта ва ижро механизмлар мажмуасидан иборат электромеханик жиҳозларнинг ишдан чиққунга бўлган эҳтимоллиги экспоненциал ва нормал тақсимланиш қонунлари устма-устлаш тамойилликка эгаллиги қайд этилган ҳамда уларнинг натижавий тақсимланиш зичлиги объектнинг ишончлилик кўрсаткичларини ҳисоблашда эътиборга олиш кераклиги эътироф этилган.

Таянч тушунчалар: махсус ўзиюрар ҳаракатланувчи таркиб, ишончлилик кўрсаткичлари, ишдан чиқишга қадар умумий иш вақти, ишдан чиқиш жадаллиги, эҳтимоллик тақсимотининг экспонент қонуни.

ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ СПЕЦИАЛЬНОГО САМОХОДНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Муҳамедова Зиёда Гафурджановна,

PhD докторант, доцент кафедры «Транспортная логистика и сервис»

Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта

Аннотация. В статье освещены факторы, влияющие на основные показатели надежности специального самоходного подвижного состава (ССПС), автомотрис и автодрезин, такие как средняя наработка до отказа, вероятность безотказной работы, интенсивность отказа, гамма-процентный ресурс. Указаны методы их определения, сделана их количественная оценка. Показано, что отдельные узлы электромеханического оборудования, работающие совместно с асинхронным двигателем, муфтой сцепления и исполнительными механизмами, имеют наложение экспоненциального и нормального закона распределения вероятности до отказа, и описана формула нахождения их плотности распределения, необходимая для корректировки показателей надежности ССПС.

Ключевые слова: специальный самоходный подвижной состав, показатели надежности, вероятность безотказной наработки, пробег, интенсивность отказа, гамма-процентный ресурс, экспоненциальный закон распределения вероятности.

ASSESSMENT OF RELIABILITY INDICES OF ELECTROMECHANICAL EQUIPMENT OF SPECIAL SELF-PROPELLED ROLLING STOCK

Mukhamedova Ziyoda Gafurjanovna,

PhD student, Associate professor of the Department
of Transport Logistics and Service

Tashkent Institute of Railway Engineers

Abstract. The study highlights the factors affecting the basic reliability indices of special self-propelled rolling stock (SSPRS), rail service cars and rail inspection cars, such as mean time to failure, the probability of failure-free operation, the failure rate, gamma-percentage resource. Methods for their determination are indicated, their quantitative assessment is made. It is shown that individual units of electromechanical equipment working in conjunction with an asynchronous motor, clutches and actuators have a superimposed exponential and normal law of probability distribution to failure. The formula to determine the distribution density, which is necessary to adjust the SSPRS reliability is described.

Keywords: special self-propelled rolling stock, reliability indices, probability of failure-free operation, mileage, failure rate, gamma-percentage resource, exponential law of probability distribution.

Введение

Результаты работы всего железнодорожного транспорта зависят от выполнения графика движения электропоездов при оптимальных технико-экономических показателях, определяемые во многом надежностью специального самоходного подвижного состава (ССПС). Надежность ССПС во многом определяется его электромеханическим оборудованием, которое должно обеспечивать выполнение заданных функций, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих режимам и условиям использования, системам технического обслуживания и ремонтов, а также их хранения.

Исходной информацией для определения показателей надежности служат статистические данные о результатах наблюдений за работой их функциональных блоков. Порядок сбора и учета первичной информации о надежности определены руководящими документами: Порядок проведения технического освидетельствования, Проверка технического состояния ССПС [1, с. 23], нами проведен на основе данных Управления механизации АО O'zbekiston temiryo'llari. В данном исследовании объектом является самоходный подвижной состав – автомотриса типа АДМ (АДМ-1). Предметом исследования является продление полезной эксплуатации аварийно-восстановительных автомотрис АДМ (АДМ-1), повышение их энергоэффективности в процессе безопасности движения.

Основная часть

При расчете показателей надежности предполагается, что исходная статистическая информация объективна, досто-

верна и отобрана в соответствии с положениями выборочного метода и достаточно по объему для получения оценок с заданной доверительной вероятностью и точностью.

Анализ статистических данных по эксплуатации автомотрис типов АДМ-1, АГВ и автодрезин ДМС, АГМС АО O'zbekiston temiryo'llari показывает, что механическое, гидравлическое и электрическое оборудование ССПС являются сложными, взаимосвязанными, динамическими объектами, работающими в различных режимах, поэтому требуется рассмотрение актуального вопроса оценки количественных показателей надежности каждого вида оборудования [2].

Остановимся на вопросе надежности электромеханического оборудования, оказывающего существенное влияние на эффективное использования всей системы ССПС.

Все технические блоки электромеханического оборудования ЭМО состоят из синхронного генератора трехфазного тока, трех электродвигателей ЭД1, ЭД2, ЭД3, соответственно, для механизма подъема и опускания груза, электродвигателя механизма передвижения груза, электродвигателя механизма поворота крана, подсоединяемые к синхронному генератору через три муфты сцепления.

Укажем, что силовые электрические цепи дизельных автомотрис и автодрезин ДГКУ, АГМ, АДМ унифицированы. Источником электрической энергии служит синхронный трехфазный генератор переменного тока мощностью 12 кВт. Каждый исполнительный механизм приводится в действие через электромагнитные муфты сцепления электрическими двигателями М1 механизма подъема и опускания гру-

за (тип АСВТ-52), М2 механизма передвижения грузовой тележки (тип 4АС100), М3 механизма поворота крана (тип МКТФ), назовем их электрическими исполнительными блоками [3]. С точки зрения надежности такой комплект электрической цепи является системой, при

которой отказ одного блока вызывает отказ всего ССПС, но не изменяет надежность других исполнительных блоков. Такую структуру в теории надежности называют системой с последовательным соединением элементов (рис. 1).

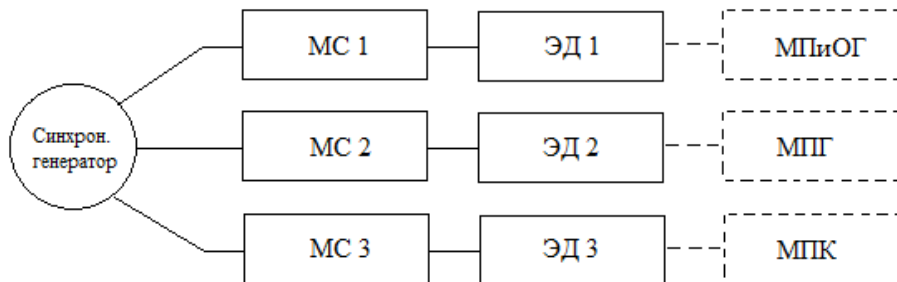


Рис. 1. Система с последовательным соединением элементов для расчета надежности электрооборудования ССПС

В соответствии с этим структурная надежность рассматриваемого объекта в течении времени t представляется в виде [2]:

$$P(t) = P_{ЭР}(t) * P_{ПОГ}(t) * P_{ПГТ}(t) * P_{ПК}(t), \quad (1)$$

где $P(t)$, $P_{ПОГ}(t)$, $P_{ПГТ}(t)$, $P_{ПК}(t)$ –

соответственно вероятности безотказной работы синхронного электрического генератора, электромагнитной муфты сцепления электродвигателя механизма подъема и отпуска груза, электродвигателя механизма передвижения груза, электродвигателя механизма поворота крана, находящихся в пределах допуска.

Если выразить $P_i(t)$ через интенсивность отказов, то (1) можно переписать в виде:

$$P(t) = \exp \left[- \sum_{i=1}^n \int_0^t \lambda_i(x) dx \right], \quad (2)$$

Для определения интенсивности отказа электромеханического оборудования были проведены наблюдения из общего числа 174 ССПС, используемых в течении 3 лет [4, с. 78] по их различным типам (АДМ, АГВ, ДГКУ и т. д.), имеющих унифицированные силовые электрические цепи. Общее число автотомтрис, взятых под наблюдение, $N = 40$. После отказа изделия новыми не заменялись. Наблюдения проводились до пробега $L_0 = 100 * 10^3$ км. За этот пробег отказали $d=10$ изделий с наработками, соответственно, $L_t = 8,3; 40,4; 40,6; 45,4;$

$47,7; 53; 69,1; 100,3; 161,9; 168,5$ тыс. км.

Известно, что закон распределения вероятности до отказа для объектов подвижного состава типа ССПС является экспоненциальным [5]. На железнодорожном транспорте для оценки надежности подвижного состава большей частью используется пробег, т. е. расстояние, пройденное объектом в рабочем состоянии.

Для ССПС целесообразно выбирать план, (N, U, L_0) , где N – количество изделий, взятых под наблюдение; U – обозначение планов, в которых отказавшие изделия не заменялись новыми; L_0 – оценка продолжительности наблюдений, в общем случае – установленный пробег, после которого производится плановое восстановление работоспособности ССПС [6].

Достоинством плана (N, U, L_0) является меньший срок наблюдения, так как нет необходимости ожидать достижения отказа всех N объектов. Вследствие этого план целесообразно использовать в практике для оценки показателей надежности, так как число ССПС (174) по АО O'zbekistontemiryollari достаточно большое.

По вышеуказанным данным можем найти:

$L_{ср.}$ – среднюю наработку до отказа;

$P(l)$ – вероятность безотказной работы при $l = 400 * 10^3$ км;

$\lambda(l)$ – интенсивность отказа;

$\gamma = 90\%$ – гамма-процентный ресурс.

Для выбранного плана рассчитываем среднюю интенсивность отказа [2]:

$$\hat{\lambda} = \frac{d}{\sum_{i=1}^d l_i + (N-d)L_0} = \frac{10}{[739,2 + (40-10) \cdot 100] \cdot 10^3 \text{ км}} = 60 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{км}} \quad (3)$$

Для рассчитанного $\hat{\lambda}$ определим доверительной вероятностью $\beta = 0,9$ [2].
двухсторонние доверительные границы с Нижняя граница:

$$\lambda_H = \frac{\hat{\lambda} N \chi^2_{\frac{1-\beta}{2}, 2d}}{d \left(2N - d + \frac{1}{2} \chi^2_{\frac{1-\beta}{2}, 2d} \right)} = \frac{2,60 \cdot 10^{-6} \cdot 40 \cdot \chi^2_{\frac{1-0,9}{2}, 2 \cdot 10}}{10 \left(2 \cdot 40 - 10 + \frac{1}{2} \chi^2_{\frac{1-0,9}{2}, 2 \cdot 10} \right)} = 0,115 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{км}} \quad (4)$$

Верхняя граница:

$$\lambda_B = \frac{\hat{\lambda} N \chi^2_{\frac{1+\beta}{2}, 2d}}{d \left(2N - d + \frac{1}{2} \chi^2_{\frac{1+\beta}{2}, 2d} \right)} = \frac{2,60 \cdot 10^{-6} \cdot 40 \cdot \chi^2_{\frac{1+0,9}{2}, 2 \cdot 10}}{10 \left(2 \cdot 40 - 10 + \frac{1}{2} \chi^2_{\frac{1+0,9}{2}, 2 \cdot 10} \right)} = 3,599 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{км}}, \quad (5)$$

где значения $\chi^2_{\frac{1-0,9}{2}, 2 \cdot 10} = 8,2$ и $\chi^2_{\frac{1+0,9}{2}, 2 \cdot 10} = 29,3$ найдем из таблицы № 1 приложения 3 к ГОСТ 17509-72.

Укажем, что $\chi^2_1 < \chi^2_2$, следовательно, при выбранном условии значимости выбранный закон не противоречит опытным данным.

Вычисленные значения λ_H и λ_B с вероятностью 0,9 покрывают истинные значения параметра λ .

Точечная оценка среднего значения наработки до отказа равна:

$$\hat{L}_{\text{ср}} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{2,60 \cdot 10^{-6}} = 384,61 \cdot 10^3 \text{ км.} \quad (6)$$

Нижний и верхний доверительные пределы средней наработки до отказа:

$$L_{\text{ср. H}} = \frac{1}{\lambda_B} = \frac{1}{3,599 \cdot 10^{-6}} = 0,277 \cdot 10^6 \text{ км; } L_{\text{ср. B}} = \frac{1}{\lambda_H} = \frac{1}{0,115 \cdot 10^{-6}} = 8,695 \cdot 10^6 \text{ км} \quad (7)$$

Вероятность безотказной работы за пробег $l = 400 \cdot 10^3$ км.

$$P(l) = e^{-\hat{\lambda} l} = e^{-2,60 \cdot 10^{-6} \cdot 400 \cdot 10^3} = 0,361 \quad (8)$$

Отметим, что вероятность безотказной работы за пробег $50 \cdot 10^3$; $100 \cdot 10^3$; $200 \cdot 10^3$; $300 \cdot 10^3$ и $400 \cdot 10^3$ км соответственно равна 0,878; 0,771; 0,594; 0,45; 0,361 (рис.2).

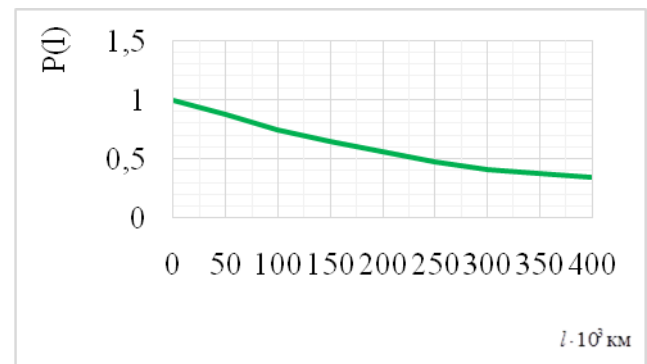


Рис. 2. Вероятность безотказной работы ССПС при экспоненциальном законе распределения

Двусторонние доверительные границы для $P(l)$ определяем по найденным значениям λ_B и λ_H :

$$P(l)_B = e^{-\hat{\lambda}_B l} = e^{-0,115 \cdot 10^{-6} \cdot 400} = 0,9999, \quad (9)$$

$$P(l)_H = e^{-\hat{\lambda}_H l} = e^{-3,599 \cdot 10^{-6} \cdot 400} = 0,99985 \quad (10)$$

Определяем 90 %-ный гамма-процентный ресурс ($\gamma = 90\%$):

$$L_{\gamma H} = \frac{1}{\lambda_B} (-\ln 0,9) = \frac{1}{3,599 \cdot 10^{-6}} (-\ln 0,9) = 29,27 \cdot 10^3 \text{ км.} \quad (11)$$

$$L_{\gamma B} = \frac{1}{\lambda_H} (-\ln 0,9) = \frac{1}{0,115 \cdot 10^{-6}} (-\ln 0,9) = 915,6 \cdot 10^3 \text{ км.} \quad (12)$$

Характерной особенностью всех типов ССПС является то, что их отказы

могут вызываться не одной, а несколькими одновременно действующими причинами [7]. Например, трехфазные исполнительные электродвигатели могут отказывать под воздействием массы их ротора, вызывающей явление эксцентритета, выбранного износа внутренних и внешних колец подшипников, износа изоляции двигателей под воздействием нагрева и перенапряжения. В зависимости от того, какой из процессов развивается интенсивнее, происходит отказ того или иного вида. Таким образом, суммарная вероятность распределения длительности работы до отказа электромеханического оборудования, имеющего муфту сцепления и работающего на различные виды нагрузки, представляет собой смесь суперпозиций нескольких распределений.

Обработка вышеуказанных статистических данных о длительности работы до отказа электромеханического оборудования отдельных узлов ССПС особенности асинхронных двигателей, показано, что для них имеет место наложение работающих совместно с муфтой сцепления экспоненциального закона и нормального гауссовского закона.

Приведем расчет плотности распределений:

$$f_1(l) = \frac{1}{L_{cp.1}} * \exp\left(-\frac{l}{L_{cp.1}}\right) = \frac{1}{384,61 \cdot 10^3} * \exp\left(-\frac{400 \cdot 10^3}{384,61 \cdot 10^3}\right) = 0,918 \cdot 10^{-3} \frac{1}{км} \quad (14)$$

$$f_2(l) = \frac{1}{2\pi\delta} * \exp\left[-\frac{(l-L_{cp.2})^2}{2\delta^2}\right] = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,15} * \exp\left[-\frac{(400-277)^2}{2 \cdot 0,15^3}\right] = 0,021 \cdot 10^{-3} \frac{1}{км} \quad (15)$$

Суммарную плотность распределения находим, подставляя (14) и (15) в (13), она равна $f(l) = 0,2 \cdot 10^{-3} \frac{1}{км}$.

Выводы

Анализ статистических данных по эксплуатации различных типов ССПС, в частности их силового электромеханического оборудования, показал, что техническое состояние механического, гидравлического и собственно электрического оборудования является сложным, взаимосвязанным динамическим объектом, работающим в различных режимах, и требует системного рассмотрения количественных показателей надежности, влияющих на эффективное использование.

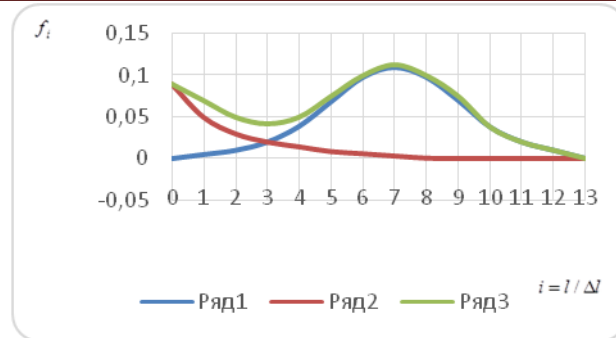


Рис. 3. Наложение экспоненциального нормального законов распределения наработки ССПС до отказа
 $\Delta l = 100 \cdot 10^3 км$

На рисунке 3 представлено распределение пройденного пути автомотрисы АДМ-1 до отказа, подтверждающее наличие двух наложений.

Это наложение можно описать формулой плотности распределения:

$$f(l) = K_1 f_1(l) + K_2 f_2(l), \quad (13)$$

где $K_1 = 0,2$ * $K_2 = 0,8$ — соответственно доли отказов, распределенных по экспоненциальному (кривая 1) и нормальному гауссовскому (кривая 2) (рис. 3.).

На рисунке кривая 3 — суммарные наложенные законы распределения; $f_1(l)$; $f_2(l)$ — соответственно плотность распределения при экспоненциальном и нормальном законах.

Используя планы наблюдения $[N, U, L_0]$, определены основные показатели и сделана оценка: L_{cp} — средняя наработка до отказа; $P(l)$ — вероятность безотказной наработки при различных пробегах; $\lambda(l)$ — нижняя и верхняя интенсивность отказов; гамма-процентный ресурс при $\gamma = 90 \%$.

На основе численных значений критерий χ^2 Пирсона при выбранных уровнях значимости закон не противоречит опы-

ным данным.

Суммарная вероятность распределения до отказа электромеханического оборудования представляет собой наложение как экспоненциального, так и нормального гауссовского законов. Дан математи-

ческий расчет их плотностей распределения, что необходимо при оценке и проектировании основных показателей надежности как при проектировании, так и эксплуатации ССПС.

Источники и литература

1. Площадка монтажная автотомотрисы АДМ-1 // Руководство по эксплуатации 77.020-35.00.000. – Россия: ОАО «Тихорецкий машиностроительный завод имени В.В. Воровского», 2003. – 31 с.
2. Гук Ю.Б. Теория надежности в электроэнергетике. – Л.: Энергоатомиздат, 1990. – С. 208.
3. ГОСТ 17509-72. Надежность изделий машиностроения. Система сбора и обработки информации. Методы определения точечных оценок показателей надежности по результатам наблюдений. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 53 с.
4. ГОСТ 33943-2016. Межгосударственный стандарт. Надежность железнодорожного тягового подвижного состава. – 2016. – 78 с.
5. Mukhamedova Z.G. Modelling of fluctuations in the main bearing frame of a railcar / Z.G. Mukhamedova // International Journal of Modern Manufacturing Technologies. – 2016. – ISSN 2067-3604. – Vol. VIII. – No 2. – Pp. 48- 53.
6. Дудкин Е.П. Экспериментально-теоретические основы выбора параметров ходовых частей вагонов промышленных железных дорог: Автореф. дисс. ... докт. техн. наук. – СПб.: ЛИИЖТ, 1991. – С. 55.
7. Anderson R., Elkins J., Brickle B. Rail Vehicle Dynamics for the 21st Century // Aref H. & Phillips. Mechanics for a New Millennium. – Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2001. – Pp. 113-126.

Рецензент:

Ишназаров О., доктор технических наук, заместитель директора Научно-технического центра АО «Убекэнерго».