

12-10-2019

METHODOLOGICAL ASPECTS OF ASSESSING AND OPTIMIZING THE RELIABILITY OF ELECTRICAL INSTALLATIONS OF SELF-PROPELLED ROLLING STOCK OF THE RAILWAY

Z G. Mukhamedova

Tashkent Institute of railway transport engineers

Follow this and additional works at: <https://uzjournals.edu.uz/ferpi>

Recommended Citation

Mukhamedova, Z G. (2019) "METHODOLOGICAL ASPECTS OF ASSESSING AND OPTIMIZING THE RELIABILITY OF ELECTRICAL INSTALLATIONS OF SELF-PROPELLED ROLLING STOCK OF THE RAILWAY," *Scientific-technical journal*: Vol. 23 : Iss. 4 , Article 2.

Available at: <https://uzjournals.edu.uz/ferpi/vol23/iss4/2>

This Article is brought to you for free and open access by 2030 Uzbekistan Research Online. It has been accepted for inclusion in Scientific-technical journal by an authorized editor of 2030 Uzbekistan Research Online. For more information, please contact sh.erkinov@edu.uz.

УДК 621.311; 629.423

**METHODOLOGICAL ASPECTS OF ASSESSING AND OPTIMIZING THE
RELIABILITY OF ELECTRICAL INSTALLATIONS OF SELF-PROPELLED ROLLING
STOCK OF THE RAILWAY****Z.G. Mukhamedova**

Tashkent Institute of railway transport engineers

**МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ И ОПТИМИЗАЦИИ
НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК САМОХОДНЫХ ПОДВИЖНЫХ
СОСТАВОВ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ****З.Г. Мухамедова**

Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта

**ТЕМИР ЙЎЛЛАРДА ЎЗИ ЮРАР ҲАРАКАТ ТАРКИБИНИ ЭЛЕКТР
СОЗЛАМАЛАРНИ ИШОНЧЛИЛИГИНИ ОПТИМИЗАЦИЯЛАШ ВА
МЕТОДОЛОГИК БАҲОЛАШ ЖИҲАТЛАРИ****З.Г. Мухамедова**

Тошкент темир йўл муҳандислари институти

Abstract. *The analysis and assessment of the reliability calculation and the choice of engineering solutions for its maintenance in the operation of electrical installations of railway self-propelled rolling stock are given in the paper. An example of solving a practical problem using the standard and special methods of the theory of reliability and optimal solutions is considered.*

Keywords: self-propelled rolling stock, reliability, electrical installations, experiment, methodology, analysis.

Аннотация. *Изложены анализ и оценка расчета надежности и выбора технических решений по ее обеспечению при эксплуатации электроустановок самоходных подвижных составов железной дороги. Рассмотрен пример решения практической задачи с использованием стандартных и специальных методов теории надежности и оптимальных решений.*

Ключевые слова: самоходный подвижной состав, надежность, электроустановки, эксперимент, методология, анализ.

Аннотация. *Темир йўлнинг ўзи юрар ҳаракат таркиби, қисимларининг электр қурилмаларини ишлатишда ишончлилигини ҳисоблаш ва уни техник ечимларини танлаб олишни таҳлил қилиш ва баҳолаш тақдим этилган. Ишончли ва аниқ ечимларининг стандарт ва махсус усуллари билан амалий муамоларни ҳал қилишининг мисоли кўриб чиқилди.*

Таянч сўзлар: ўзи юрар ҳаракат таркиби, ишончлилик, электр қурилмалар, эксперимент, методология, таҳлил.

Проблема надежности электрифицированных железных дорог вообще, и в частности, не тяговых установок типа специальных самоходных подвижных составов (ССПС) становится одной из главных. Имеется много примеров выявления и устранения причины ненадежной работы ССПС, особенно его электроустановок вследствие недостатков их проектно-конструкторских разработок и режимов эксплуатации.

Рассматривая показатели надежности ССПС, необходимо учесть условия его работоспособности при отказах отдельных функциональных узлов и влияний внутренних и внешних воздействий, т.е. по мере выполнения всех или части функции. Учет этих

ENERGETICS, THE ELECTRICAL ENGINEERING, ELECTRONIC DEVICES AND INFORMATION TECHNOLOGIES

особенностей показателей надежности ССПС в ходе его эксплуатации путем применения статического моделирования случайного процесса перехода установки из одного состояния в другое состояние является актуальной задачей. Такой подход дает возможность решать следующие практические задачи [1]:

- статический анализ и оценка надежности по результатам многолетних наблюдений действующей установки;
- прогнозирование и нормирование оптимальной надежности;
- рациональный выбор технических решений при проектировании, их создании и эксплуатации.

Особенностью при анализе и оценки надежности ССПС являются:

- в отличие от обычных объектов статистической информации об объекте целесообразно начинать после первого капитального ремонта, так как СПС имеют особую конструкцию и особый режим эксплуатации;
- минимальное число наблюдаемых N объектов для проверки требуемой вероятности $P(t)$ без отказной работы, вследствие экспоненциального закона распределения вероятности, целесообразно определять по формуле [2]:

$$\delta_{+1} = \frac{2N}{\chi^2(1-\beta; 2N)}, \quad (1)$$

где $\chi^2(1-\beta; 2N)$ квантиль распределения хи – квадрат при числе степени свободы N ; β – используемая доверительная вероятность в пределах $0,90 \dots 0,95$; δ – относительная ошибка,

определяемая как $\delta = \frac{t^B - t_{cp}}{t_{cp}}$, t^B , t_{cp} – соответственно верхняя односторонняя доверительная

граница и среднее значение исследуемой случайной величины или параметра.

- при неизвестном закон распределения случайной величины минимальное число N для определения вероятности $P(t)$ безотказной работы СПС в течении заданного времени t с доверительной вероятности β находится по формуле:

$$N = \frac{\ln(1-\beta)}{\ln P(t)} \quad (2)$$

- немаловажной особенностью является также необходимость объединения статистических данных, собранных с различных регионов для более точного определения показателей надежности и установления вида закона распределения случайных величин.

Учитывая вышесказанные обстоятельства при сборе априорной информации для исследования надежности СПС, воспользуемся многофакторным дисперсионным анализом, то есть при учёте влияния нескольких переменных на какую-либо одну случайную величину, дающую возможность определить влияние уровня и режима эксплуатации, и метеорологических условий регионов, на показатели надежности ССПС, а также эффективность дальнейших технических обслуживаний.

Известно, что многофакторный дисперсионный анализ с инженерной точки зрения целесообразно определять в форме регрессионного анализа [2].

В силу того, что СПС является сложной многоэлементной динамической системой, имеющей взаимозависимые входные и выходные величины металл конструкционных, гидравлических и электромеханических установок, работающими в тяжёлых эксплуатационных условиях, надежность СПС в целом или его отдельной установки представляет трудную задачу в форме известных законов. Поэтому для анализа надежности ССПС воспользуемся, с инженерной точки зрения, статистическим методом множественной регрессии, дающие возможность определять коэффициенты полинома как коэффициенты регрессии, связывающие выходные параметры Y и множество входных параметров X .

В данной работе статистические данные выбирались из множества наблюдений в ходе восьмилетней эксплуатации различной модификации ССПС в регионах «Узбекистон темир

ENERGETICS, THE ELECTRICAL ENGINEERING, ELECTRONIC DEVICES AND INFORMATION TECHNOLOGIES

йуллари» с учетом правил построения оптимальных планов для полных и дробных факторных элементов (таблица 1). Такое правило позволяет уменьшать среднеквадратическую ошибку оценок, получаемых с помощью полинома регрессии и сократить число экспериментов [2].

Для электромеханической установки СПС факторный эксперимент при трех факторах имеет матрицу планирования в виде:

здесь k - номер строки или опыта, в нашем случае это наблюдения; по отказам и неисправностям -1 - означает верхний уровень влияния величины или параметра (факторов), а +1 - нижний, которая дает возможность оценки коэффициентов полинома

Таблица 1

k	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁ X ₂	X ₂ X ₃	X ₁ X ₃	X ₂ X ₃
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1	1

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3 \quad (3)$$

где b_i определяются формулам:

$$b_i = \frac{1}{8} \sum_{k=1}^8 x_i \cdot y_k; b_{ij} = \frac{1}{8} x_i x_j y_k; b_{ijs} = \frac{1}{8} x_i \cdot x_j \cdot x_s \cdot y_k \quad (4)$$

с дисперсией коэффициентов

$$\sigma^2(b_i) = \frac{1}{8} \sigma^2(y) \quad (5)$$

где $\delta^2(y)$ - дисперсия оценки, y – соответствующие параметры, в каждом из восьми опытов.

Вышеуказанный многофакторный эксперимент даёт численную оценку каждой влияющей величины x на контролируемый параметр y . Отбрасывая члены полинома малости второго порядка можем получить достоверную модель исследуемого объекта.

Основываясь на вышеуказанных положениях, рассмотрим прогнозирование параметра потока отказов для синхронного генератора (СГ) типа SECC 62-4У2, установленного на автомотрисе, для питания исполнительных двигателей механизма поворота площадки монтажной, насоса гидравлики, механизма поворота крана и электрогидравлического толкателя.

Эксплуатационная надежность СГ определяется следующими факторами влияния [3]:

1. Электрическая прочность изоляции статорной обмотки с учетом загрязнения. Верхнему уровню отвечает кратная электрическая прочность равная 2, нижнему - 1,3;
2. Максимальный ток короткого замыкания. Верхний уровень составляет 100% предельного тока отключения; нижний уровень - 50%;
3. Недопустимая максимальная температура. Верхний уровень 86°C в течении 24 часов; нижний уровень - 20°C;
4. Допустимый эксцентритет ротора. Максимальный прогиб ротора в середине ротора - 0,5 см; минимальный прогиб - 0,3 см;
5. Отключение СГ вследствие короткого замыкания исполнительных электродвигателей в течении года; верхний уровень 10 коротких замыканий и более; нижний уровень - около 3 коротких замыканий;
6. Число остановок СГ из-за отказов подшипников. Верхний уровень 5 отключений,

нижний уровень - 1.

Сгруппировав данные эксплуатационной статистики рассматриваемого для синхронного генератора по плану дробного факторного эксперимента и по таблице 2, предположив, что взаимосвязь перечисленных выше факторов не влияет на средний параметр потока отказов, получен следующий результат:

$$\bar{\lambda} = 0,0324 - 0,005 \cdot x_3 + 0,0061 \cdot x_4 + 0,0111 \cdot x_5 \quad (6)$$

На основании среднего параметра потока отказов и с помощью полинома можно показать, что с 95% ной достоверностью сравнения полученного значения и табличного по критерию Фишера.

$$F_{\text{табл}} < F_{\text{факт}} = \frac{\Sigma(\hat{y} - \bar{y})^2 / m}{\Sigma(y - \hat{y})^2 / (n - m - 1)},$$

где m – число параметров при факторе x ; $n - 8$ число наблюдений; y, g - оценки. При этом $\bar{\lambda}$ даёт адекватное описание влияния воздействующих факторов. Кроме того, по полученным данным можно считать, что параметр потока отказов (6) при эксплуатации рассматриваемого генератора типа ЕСС-62-4У2, установленный на автотрисе АДМ-1, определяет следующими факторами в порядке убывания степени влияния-числом коротких замыканий электрических цепей исполнительных двигателей x_5 (как показали наблюдения существенное влияние механизма поворота и насоса гидравлики), перегревом обмотки статора из-за перегрузки (x_4), а также отключения СГ вследствие неисправностей исполнительных электродвигателей - (x_3).

Таблица 2.

Характеристики факторного эксперимента

Номер опыта, k	Число отказов, m	Суммарная наработка, S	Несмещённая интенсивность отказов, $\lambda = m/S$	Смещенная наработка ΔS	Смещенная интенсивность отказов $\lambda = m/(S - \Delta S)$
1	5	232	0,0215	207	0,0241
2	11	402	0,0277	362	0,0304
3	7	133	0,0526	119	0,0588
4	3	121	0,0248	109	0,0275
5	1	132	0,0076	118	0,0084
6	9	374	0,0241	337	0,0267
7	1	196	0,0051	176	0,0057
8	3	98	0,306	88	0,0341

Значение влияющего фактора x_5 стимулирует необходимость разработки и анализа математической модели отказа СГ для более глубокого анализа процесса прогнозирования надежности с целью поэтапного нахождения оптимального профилактического периодичности обслуживания.

Надежность системы защиты и управления СГ как одного из главных функциональных устройств во многом определяет локализацию отказов и восстановления нормального режима СПС. Для непосредственной оценки вероятности безотказной работы СГ рассмотрим простейшую из моделей, определяющую его текущую надежность, и сформулируем выводы и в отношении проведения его оптимальной периодичности профилактики.

Допустим, что за время t вероятность безотказной работы представляется произведением:

$$P(t) = P_0 \cdot P_1(t) \cdot P_2(t), \quad (7)$$

ENERGETICS, THE ELECTRICAL ENGINEERING, ELECTRONIC DEVICES AND INFORMATION TECHNOLOGIES

где $P_0, P_1(t), P_2(t)$ - вероятность безотказной работы внезапных отказов и питаемых электродвигателей отказов из-за короткого замыкания в самом СГ.

По данным статистики, вероятность отказа $Q(t_0)$, СГ при начальном этапе эксплуатации из-за низкого качества изготовления находится в пределах от 0,001, ..., до 0,006 [4]. Поэтому для СГ вероятность безотказности можно принять равным $P_0=0,999...0,994$. Известно также, что вероятность отсутствия внезапных отказов для электромеханических объектов изменяется по выражению

$$P_1(t) = \exp(-\lambda t), \quad (8)$$

где λ - интенсивность отказов, определяемая с достаточной вероятностью на основе длительной эксплуатации.

У СГ, который питает группу исполнительных электродвигателей, отработка ресурса происходит неравномерно, из-за нелинейности электрической прочности изоляции, вольтамперной характеристики и других износных параметров. Короткие замыкания возможны на самом СГ или из-за различных неисправностей и перезагрузок электродвигателей. В зависимости от значения тока короткого замыкания, тепловых и нагрузочных перезагрузок зависит значение срабатываемого ресурса СГ. Работу СГ, которая в каждый момент времени может находиться в любом из конечного числа состояний, обозначим через E_1, E_2, \dots, E_N , а E_0 - состояние безотказной работы. В состоянии E_{N-k} объект может переходить из любого состояния $E_{N-k+1}, E_{N-k+2}, \dots, E_{N-k}, E_N$, а в конечное состояние возможно перейти из любого состояния. Параметры потоков возможных переключений обозначим через $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N$. График этого случайного процесса изображен на рисунке 1. Разным значениям λ соответствуют различные переходы, уменьшающие ресурс СГ в разной степени. Число M обозначает начальный ресурс СГ. Перезагрузка с значением λ_1 уменьшает ресурс на $1/M$ -ю часть, а параметр λ_2 - на $2/M$ - с части, а с λ_M приводит сразу к отказу устройства.

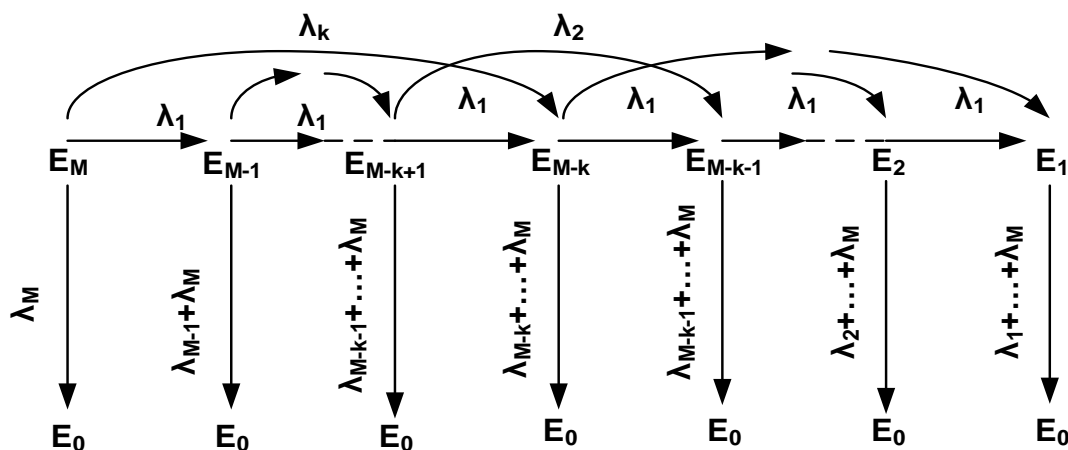


Рис. 1 Графовая модель неравномерного износа.

При рассмотрении вероятности безотказной работы с начального момента времени сумму вероятностей состояния от первого до M - го можно записать

$$P(t) = \sum_{i=1}^M P_i(t). \quad (9)$$

Текущее i -е состояние характеризуется оставшим ресурсом i и отработанным ресурсом $M-i$.

Дифференциальное уравнение для вероятности текущего состояния можно записать в виде [5]:

$$P_i^1(t) = -\sum_{j=1}^M \lambda_j \cdot P_j(t) + \sum_{j=1}^M \lambda_j \cdot P_{i+j}(t), \quad (10)$$

где j - индекс параметра потока отработки j/M - й части начального ресурса.

На практике встречается необходимость рассмотрения вероятности безотказной работы с времени, когда имеющийся ресурс не равен M , тогда (9) и (10) преобразуется к виду:

$$P(t) = \sum_{i=1}^n P_i(t),$$

$$P_i^1(t) = -\sum_{j=1}^N \lambda_j \cdot P_j(t) + \sum_{j=1}^{N-1} \lambda_j \cdot P_{i+j}(t), \quad (11)$$

где n - сработанный ресурс.

Решив (11) получим формулу для вероятности $P_2(t)$ $n \leq M$ [5]

$$P_2(t) = \frac{-\exp(-a_1 - a_2 - a_3) \cdot \sum_{k=0}^{\leq A_k} \cdot \sum_{k=0}^{\leq A_p} \cdot \sum_{k=0}^{\leq A_m} \cdot (a_5^k \cdot a_2^p \cdot a_1^m)}{k! \cdot p! \cdot m!}, \quad (12)$$

где $a_1 = \lambda_1 t$; $a_2 = \lambda_2 t$; $a_3 = \lambda_3 t$; $A_k = (n-1)/5$; $A_p = (n-1-5k)/2$; $A_m = n-5k-2p$.

где k - часть ресурса с допустимым непрерывной работой.

На рисунке 2 приведены кривые вероятности безотказной работы от сработанного ресурса СГ при неравномерном и равномерном износе, рассчитанные по формулам (9) ... (12).

Анализ кривых на рисунке 2 показывает, что кривая, соответствующая модели вероятности безотказной работы при неравномерной сработке ресурса, построенная по формуле (12) для различного сочетания значения λ более приемлема по сравнению с использованием модели [6] равномерного износа, иначе будет завышена оценка вероятности безотказной работы СГ.

В заключении можем указать что математическая модель зависимости $P_2(t)$ позволяет прогнозировать искомую надежность работы синхронного генератора автомотрисы при сработке начального ресурса для любых реальных условий эксплуатации и назначать оптимальную периодичность технического обслуживания.

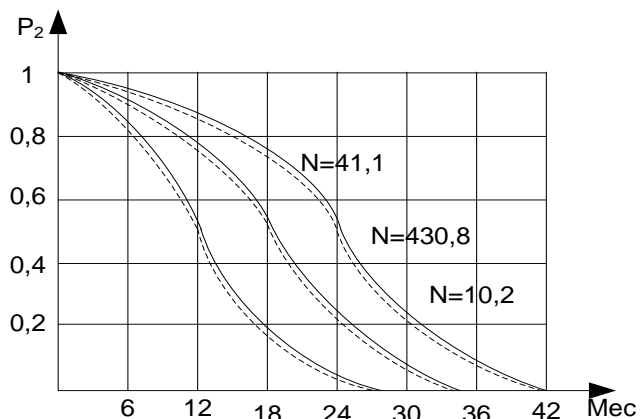


Рис. 2. Зависимость вероятности безотказной работы от сработанного ресурса; (сплошными кривыми при неравномерном и штриховыми - при равномерном износе).

References:

- [1]. Mukhamedova Z.G., Yakubov M.S. Analysis of optimal periodicity of preventive maintenance of rail service car taking into account operational technology, European science review 2018. P. 167-171.
- [2]. Бродский В.В., Бродский Л.И., Голи Т.И. Таблица планов эксперимента для факторных и полиномиальных моделей, М.: 1990 г.
- [3]. Инструкция по автомотрисе. Дизельная монтажная АДМ-1. Руководство к эксплуатации 77.020-00.00.000 РЭ ОАО «Тихорецкий машиностроительный завод имени В.В.Воровского» 2003 год.
- [4]. Ершевич В.В., Зейлингер А.Н., Ларионов Г.А. и др.; под ред. Рокотьяна С.С. и Шапиро И.М. Справочник по проектированию электроэнергетических систем 3-е изд. М.: Энергоатомиздат, 1985. - 352 с.
- [5]. Гук Ю.Б. Анализ надежности электроэнергетических установок. Л.: Энергоатомиздат. 1988 год. Мухамедова З.Г. Показатели норм надежности при проектировании электрооборудования монтажной площадки автомотрисы, Проблемы энерго- и ресурсосбережения Ташкент 2017 год, №1-2 с. 247-250.

Литература

- [1]. Mukhamedova Z.G., Yakubov M.S. Analysis of optimal periodicity of preventive maintenance of rail service car taking into account operational technology, European science review 2018. P. 167-171.
- [2]. Бродский В.В., Бродский Л.И., Голи Т.И. Таблица планов эксперимента для факторных и полиномиальных моделей, М.: 1990 г.
- [3]. Инструкция по автомотрисе. Дизельная монтажная АДМ-1. Руководство к эксплуатации 77.020-00.00.000 РЭ ОАО «Тихорецкий машиностроительный завод имени В.В.Воровского» 2003 год.
- [4]. Ершевич В.В., Зейлингер А.Н., Ларионов Г.А. и др.; под ред. Рокотяна С.С. и Шапиро И.М. Справочник по проектированию электроэнергетических систем 3-е изд. М.: Энергоатомиздат, 1985. - 352 с.
- [5]. Гук Ю.Б. Анализ надежности электроэнергетических установок. Л.: Энергоатомиздат. 1988 год.
Мухамедова З.Г. Показатели норм надежности при проектировании электрооборудования монтажной площадки автомотрисы, Проблемы энерго- и ресурсосбережения Ташкент 2017 год, №1-2 с. 247-250.

Web сайтлар

- [1]. mziyoda@mail.ru