

УДК 623.4.083

ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ РОБОТИ СТРУМОПРИЙМАЧІВ ДЛЯ ШВИДКІСНОГО РУХУ

Д-р техн. наук О.С. Крашенінін, магістри І.В. Бринський, М.М. Пупій

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ТОКОПРИЕМНИКОВ ДЛЯ СКОРОСТНОГО ДВИЖЕНИЯ

Д-р техн. наук А.С. Крашенинин, магистры И.В. Брынский, М.М. Пупий

ASSESSMENT OF THE RELIABILITY OF CURRENT COLLECTORS FOR HIGH-SPEED TRAFFIC

Doct. of techn. sciences O.S. Krashenin, master students I.V. Brunskyy, M.M. Pupy

Сучасний рухомий склад повинен мати високу надійність, оскільки забезпечує швидкісне переміщення вантажів і пасажирів. Це стосується всіх його складових деталей, вузлів і агрегатів, особливо тих, що забезпечують рух і є основою безпеки локомотива в цілому. Звідси виникає необхідність математичної оцінки надійності відповідальних вузлів електричного рухомого складу і, зокрема, струмоприймачів.

Стабільність струмознімання на залізницях залежить від багатьох факторів, у тому числі від характеристик контактної мережі і струмоприймача. Взаємодія контактної підвіски і струмоприймача є складним процесом, особливо при високих швидкостях. Для забезпечення безперервного якісного струмознімання контактна мережа і струмоприймач повинні мати високу надійність.

У разі відмови струмоприймача припиняється живлення рухомого складу електричною енергією. Це може призвести до тимчасових економічних або матеріальних витрат. Для того, щоб уникнути цього, необхідно точно визначити ресурс струмоприймача та його складових.

Ключові слова: швидкісний рухомий склад, надійність, струмоприймач.

Современный подвижной состав должен иметь высокую надежность, поскольку обеспечивает скоростное перемещение грузов и пассажиров. Это касается всех его составляющих деталей, узлов и агрегатов, особенно тех, которые обеспечивают движение и являются основой безопасности локомотива в целом. Отсюда возникает необходимость математической оценки надежности ответственных узлов электрического подвижного состава и, в частности, токоприемников.

Стабильность токосъема на железнодорожных дорогах зависит от многих факторов, в том числе от характеристик контактной сети и токоприемника. Взаимодействие контактной подвески и токоприемника является сложным процессом, особенно при высоких скоростях. Для обеспечения непрерывного качественного токосъема контактная сеть и токоприемник должны иметь высокую надежность.

В случае отказа токоприемника прекращается питание подвижного состава электрической энергией. Это может привести к временным экономическим или материальным затратам. Для того, чтобы избежать этого, необходимо точно определять ресурс токоприемника и его составляющих.

Ключевые слова: скоростной подвижной состав, надежность, токоприемник.

Modern rolling stock must have high reliability, as it provides high-speed movement of goods and passengers. This applies to all its constituent parts, components and assemblies, particularly those that provide traffic and security are the foundation of the locomotive as a whole. Since from here it is necessary to assess the reliability of mathematical responsible units of electric rolling stock and, in particular, current collectors.

The stability of the current collection at railway roads depends on many factors, including the characteristics of the pantograph and contact network. Interaction pantograph suspension and contact is a complex process, especially at high speeds. To ensure continuous quality current collection and Current contact network must have high reliability.

In case of refusal trolley stops rolling stock supply electricity. This can lead to temporary, economic or material costs. To avoid this, specify resource pantograph and yohoskladovyh.

Keywords: high-speed rolling stock reliability, current collectors.

Вступ. За останні роки у світі набув розвитку швидкісний рухомий склад, що дало змогу залізницям успішно конкурувати з іншими видами транспорту. Досвід роботи цього швидкісного рухомого складу показав його високу надійність і ефективність. Тому для України розвиток швидкісного рухомого складу набуває актуальності.

Надійність є одним із найважливіших показників деталей та пристроїв сучасної техніки. Від неї залежать такі характеристики, як якість, ефективність, безвідмовність, ризик, готовність, живучість. Щоб забезпечити ці

характеристики, необхідно точно визначити ресурс струмоприймача і його вузлів.

У статті розглядається методика визначення надійності струмоприймачів методом теорії надійності.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими і практичними завданнями. Рухомий склад залізниць України потребує оновлення, але заміна його закордонним рухомим складом без урахування особливостей і інтенсивності навантажень не завжди виправдана. Тому в нашій країні науковцями проведений значний

обсяг досліджень з точки зору створення нового обладнання, що за своїми показниками не поступається закордонним зразкам.

Укрзалізниця розробила ряд положень і програм, що направлені на оновлення рухомого складу. У свою чергу це потребує вирішення завдань обґрунтування надійності роботи вузлів і агрегатів рухомого складу в експлуатації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню і розробленню принципів проектування й оцінки надійності конструкцій рухомого складу присвячені роботи Тартаковського Е.Д., Мороза В.І., Пузиря В.Г., Бабаніна О.Б. та інших учених.

Кафедри ЕРРС та МПМ УкрДУЗТ запропонували ряд нових конструкцій обладнання локомотивів і провели роботи з наукового обґрунтування надійних механізмів.

Визначення мети та аналіз дослідження. Метою дослідження є розроблення методики визначення надійності струмоприймачів тягового рухомого складу і математична оцінка надійності струмоприймачів для швидкісного рухомого складу.

Основна частина дослідження. Розглянемо підхід до оцінки надійності конструкції струмоприймача, який являє собою асиметричний пантограф, що призначений для встановлення на електровози деяких серій. Найбільша допустима швидкість згідно з

технічними вимогами, що забезпечує струмоприймач, 160 км/год.

Для розрахунку показників надійності подано структурну схему струмоприймача в загальному вигляді (рис. 1).

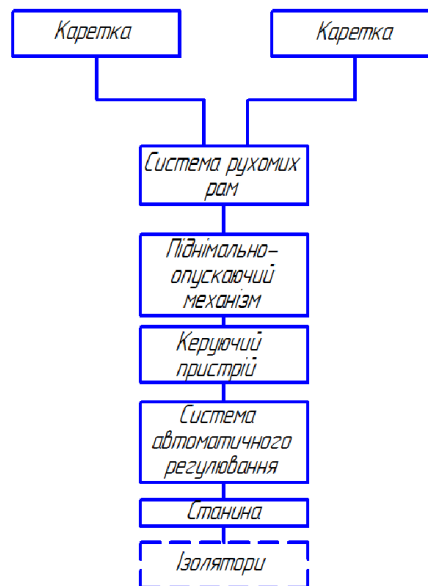


Рис. 1. Структурна схема струмоприймача

з точки зору розрахунку надійності для послідовного з'єднання ймовірності безвідмовної роботи струмоприймача визначасмо за формулою [1-3]:

$$P_{тк}(t) = P(t)_{кар} \cdot P(t)_{срр} \cdot P(t)_{ном} \cdot P(t)_{стан} \cdot P(t)_{ізол} \cdot P(t)_{к.п} \cdot P(t)_{сар}, \quad (1)$$

де t – час роботи струмоприймача в експлуатації;

$P_{тк}(t)$ – імовірність безвідмовної роботи струмоприймача;

$P(t)_{кар}$ – імовірність безвідмовної роботи підсистеми «каретка»;

$P(t)_{срр}$ – імовірність безвідмовної роботи підсистеми «система рухомих рам»;

$P(t)_{ном}$ – імовірність безвідмовної роботи підсистеми «підіймально-опускаючий механізм»;

$P(t)_{к.п}$ – імовірність безвідмовної роботи керуючих пристроїв;

$P(t)_{стан}$ – імовірність безвідмовної роботи підсистеми «станина»;

$P(t)_{сар}$ – імовірність безвідмовної роботи підсистеми «система автоматичного регулювання»;

$P(t)_{ізол}$ – імовірність безвідмовної роботи ізолятора.

Кожна підсистема системи має свої внутрішні особливості, де зв'язки елементів можуть бути записані як паралельне і послідовне з'єднання [2,3]. Для прикладу розглянемо розрахунок надійності каретки, структурна схема якої наведена на рис. 2.

Інтенсивність відмов елементів каретки наведена в табл. 1 [1].

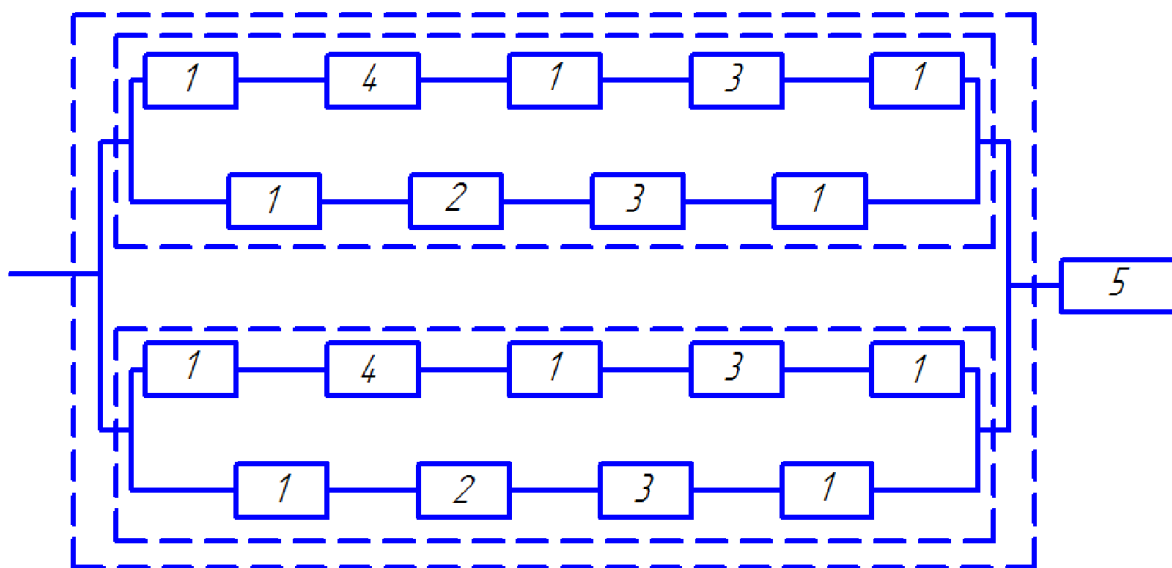


Рис. 2. Структурна схема каретки струмоприймача:
 1 – вал; 2 – верхній стрижень каретки; 3 – нижній стрижень каретки;
 4 – пружина; 5 – корпус

Таблиця 1

Інтенсивності відмов елементів каретки

Елемент	Інтенсивність відмов $\lambda_i, 10^{-6}$ 1/год
Вал	0,020
Корпус	0,005
Верхній стрижень каретки	0,004
Нижній стрижень каретки	0,004
Пружина	0,012

Імовірність безвідмовної роботи всіх елементів можна розрахувати за формулою для раптових відмов:

$$P(t) = e^{-\lambda t}, \quad (2)$$

де λ – інтенсивність відмов, 10^{-6} 1/год.

Для урахування впливу динаміки рухомого складу і кліматичних впливів вводимо у формулу (2) коефіцієнти k_D і k_T . Для всіх систем приймаємо коефіцієнт впливу динаміки рухомого складу $k_D=1,54$ і коефіцієнт кліматичних впливів $k_T=2$ [4-6].

Тоді уточнена формула має вигляд:

$$P(t) = e^{-\lambda \cdot t \cdot k_D \cdot k_m}. \quad (3)$$

Ймовірність безвідмовної роботи корпусу:

$$P_{кор}(t) = e^{-0,005 \cdot 10^{-6} \cdot t \cdot 1,54 \cdot 2} = e^{-0,0154 \cdot 10^{-6} \cdot t}$$

Далі розрахуємо послідовне з'єднання елементів: вал – верхній стрижень – нижній стрижень – вал за формулою

$$P_1(t) = P_{вал}(t) \cdot P_{в.с.к}(t) \cdot P_{н.с.к}(t) \cdot P_{вал}(t), \quad (4)$$

де $P_{вал}(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи вала;

$P_{в.с.к}(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи верхнього стрижня каретки;

$P_{н.с.к}(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи нижнього стрижня каретки.

$$P_{н.с.к}(t) = e^{-0,004 \cdot 10^{-6} \cdot 1.54 \cdot 2t} = e^{-0,0123 \cdot 10^{-6} \cdot t}.$$

Відповідно ймовірність безвідмовної роботи вала:

Ймовірність безвідмовної роботи нижнього стрижня каретки:

$$P_{вал}(t) = e^{-0,020 \cdot 10^{-6} \cdot 1.54 \cdot 2t} = e^{-0,733 \cdot 10^{-6} \cdot t}.$$

$$P_{н.с.к}(t) = e^{-0,004 \cdot 10^{-6} \cdot 1.54 \cdot 2t} = e^{-0,0123 \cdot 10^{-6} \cdot t}.$$

Ймовірність безвідмовної роботи верхнього стрижня каретки:

Після отримання проміжних результатів можна розрахувати $P_1(t)$:

$$P_1(t) = e^{-(0,20+0,04+0,04+0,20) \cdot 10^{-6} \cdot 1.54 \cdot 2 \cdot t} = e^{-0,48 \cdot 1.54 \cdot 2 \cdot 10^{-6} \cdot t} = e^{-1,478 \cdot 10^{-6} \cdot t}.$$

Розрахунок другої групи послідовно з'єднаних елементів: вал – пружина – вал – нижній стрижень каретки – вал виконаємо за формулою

$$P_2(t) = P_{вал}(t) \cdot P_{пр}(t) \cdot P_{вал}(t) \cdot P_{н.с.к}(t) \cdot P_{вал}(t), \quad (5)$$

де $P_{пр}(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи пружини;

$$P_{пр}(t) = e^{-0,012 \cdot 10^{-6} \cdot t}$$

$$P_2(t) = e^{-(0,20+0,012+0,20+0,01+0,20) \cdot 10^{-6} \cdot 1.54 \cdot 2 \cdot t} = e^{-0,492 \cdot 1.54 \cdot 2 \cdot 10^{-6} \cdot t} = e^{-1,515 \cdot 10^{-6} \cdot t}$$

Ймовірність безвідмовної роботи двох паралельних гілок: вал – верхній стрижень каретки – нижній стрижень каретки – вал і вал – пружина – вал – нижній стрижень каретки – вал становить

$$P_{(1-2)}(t) = 1 - (1 - P_1(t)) \cdot (1 - P_2(t)), \quad (7)$$

$$P_{(1-2)}(t) = 1 - \left(1 - e^{-1,457 \cdot 10^{-6} \cdot t}\right) \left(1 - e^{-1,515 \cdot 10^{-6} \cdot t}\right) = e^{-1,457 \cdot 10^{-6} \cdot t} + e^{-1,515 \cdot 10^{-6} \cdot t} = e^{-2,993 \cdot 10^{-6} \cdot t}.$$

Так як каретка має симетричну побудову, ймовірність безвідмовної роботи для двох паралельних гілок $P_{(1-2)}(t)$ розраховуємо як

$$P_{(1-2)II}(t) = 1 - (1 - P_{(1-2)}(t))^2.$$

Ймовірність безвідмовної роботи каретки з урахуванням корпусу розраховуємо за формулою

$$P_{кар}(t) = P_{кар}(t) \cdot P_{(1-2)II}(t),$$

$$P_{кар}(t) = e^{-1,4934 \cdot 10^{-6} \cdot t} + e^{-1,53 \cdot 10^{-6} \cdot t} - e^{-2,958 \cdot 10^{-6} \cdot t}.$$

Оскільки в конструкції струмоприймача передбачено дві каретки, розрахунок виконується, враховуючи паралельні з'єднання:

$$1 - \left[1 - \left(e^{-1,4934 \cdot 10^{-6} \cdot t} + e^{-1,53 \cdot 10^{-6} \cdot t} - e^{-2,958 \cdot 10^{-6} \cdot t}\right)\right]^2.$$

Рухомий склад залізниць

Так само розраховані показники надійності для всіх інших елементів та підсистем струмоприймача. У табл. 2 і 3 за

даними робіт [4, 7-10] наведені інтенсивності відмов елементів струмоприймача.

Таблиця 2

Розрахунок параметрів елементів струмоприймача

Елемент	Інтенсивність відмов, $\lambda_i, 10^{-6}$ 1/год
Вставка	1,110
Накладка	0,001
Каркас	0,025
Шунт	2,200
Вал	0,020
Підшипник	0,875
Гумово-кордовий елемент	9,000
Демпфер	0,030
Стрижень	0,004
Пружина	0,012
Корпус	0,005
Ланцюгова передача	2,175
Повітряний фільтр	0,200
Пневматичний регулятор	2,100
Електропневматичний клапан	0,900
Пневматичний дросель	0,800
Датчик швидкості	0,400
Датчик іскріння	0,100
Блок керування	0,800
Станина	0,005
Ізолятор	0,050

Відповідно до даних табл. 2 елементами, що мають найменшу надійність, є гумово-кордовий елемент, ланцюгова передача та пневматичний регулятор. Також при експлуатації струмоприймача цим елементам необхідно приділяти підвищену увагу [4].

За даними табл. 3 побудований графік імовірності безвідмовної роботи струмоприймача. Функція надійності струмоприймача наведена на рис. 3.

Таблиця 3

Розрахункові параметри підсистеми струмоприймача

Підсистема	Імовірність безвідмовної роботи T, год
Каретка	$1 - \left[1 - \left(e^{-1,4934 \cdot 10^{-6} \cdot t} + e^{-1,53 \cdot 10^{-6} \cdot t} - e^{-2,958 \cdot 10^{-6} \cdot t} \right) \right]^2$
Система рухомих рам	$e^{-13,26 \cdot 1,54 \cdot 2 \cdot 10^{-6} \cdot t} = e^{-40,84 \cdot 10^{-6} \cdot t}$
Підйнятно-опускаючий механізм	$e^{-4,496 \cdot 1,54 \cdot 2 \cdot 10^{-6} \cdot t} = e^{-13,847 \cdot 10^{-6} \cdot t}$
Керуючий пристрій	$e^{-2,2 \cdot 1,54 \cdot 2 \cdot 10^{-6} \cdot t} = e^{-6,776 \cdot 10^{-6} \cdot t}$
Система автоматичного регулювання	$e^{-0,8 \cdot 1,54 \cdot 2 \cdot 10^{-6} \cdot t} = e^{-2,464 \cdot 10^{-6} \cdot t}$
Станина	$e^{-0,005 \cdot 1,54 \cdot 2 \cdot 10^{-6} \cdot t} = e^{-0,0154 \cdot 10^{-6} \cdot t}$
Ізолятори	$e^{-0,050 \cdot 1,54 \cdot 2 \cdot 10^{-6} \cdot t} = e^{-0,154 \cdot 10^{-6} \cdot t}$

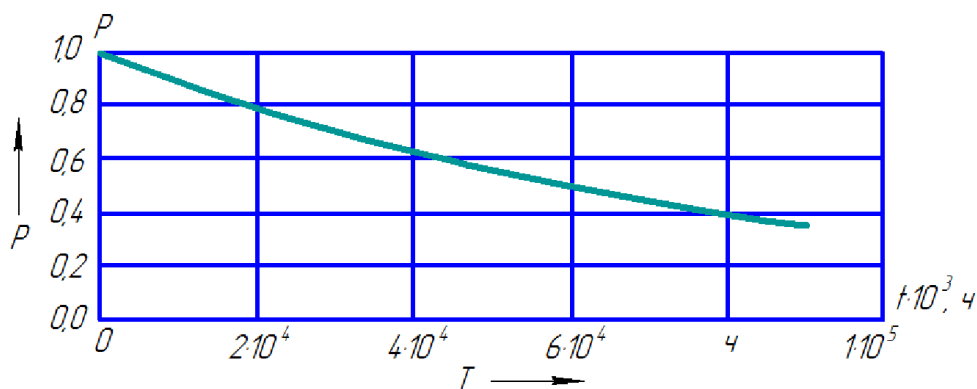


Рис. 3. Зміни ймовірності безвідмовної роботи струмоприймача

Висновки. Як видно з графічної залежності, при середньому напрацюванні на відмову струмоприймача 10000 год імовірність безвідмовної роботи струмоприймача складає 90 %, що відповідає технічним вимогам, які ставляться до струмоприймача.

Елементами, які мають найменший час напрацювання на відмову при ймовірності безвідмовної роботи 90 %, є: гумово-кордовий елемент, ланцюгова передача і пневматичний регулятор.

Список використаних джерел

1. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения [Текст] / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – М.: Наука, 1988. – 480 с. (Физико-математическая библиотека инженера; вып. 106).
2. Гнеденко, Б.В. Введение в теорию массового обслуживания [Текст] / Б.В. Гнеденко, И.Н. Коваленко. – М.: Наука, 1987. – 336 с.
3. Овчаров, Л.А. Прикладные задачи теории массового обслуживания [Текст] / Л.А. Овчаров. – М.: Машиностроение, 1969. – 324 с.
4. Сидоров, О.А. Оценка влияния диссипативных характеристик амортизаторов на работу устройств токосъема [Текст] / О.А. Сидоров, В.В. Томилов, А.В. Беккер // Актуальные проблемы проектирования и эксплуатации контактных подвесок и токоприемников электрического транспорта / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск, 2011. – 237 с.
5. Абдурахманов, П. Анализ изменения коэффициентов равнопрочности и стабильности регулировок ходового механизма трактора ДТ-54 в зависимости от срока службы [Текст] / П. Абдурахманов // Труды ГОСНИТИ. – М., 1963. – Т. 2.
6. Справочник по вероятностным расчетам [Текст] / Г.Г. Абезгауз [и др.]. – М., 1966.
7. Алгоритм построения эквивалентной нормальной формы [Текст] / М.Н. Василенко, А.А. Прокофьев, В.В. Сапожников, Вл.В. Сапожников // Автоматика и телемеханика. – 1976. – № 10. – С. 168-174.
8. Сапожников, Вл.В. Контроль линейных комбинационных схем [Текст] / Вл.В. Сапожников // Кибернетика. – 1979. – № 3. – С. 44-47.
9. Щербаков, Н.С. Структурная теория аппаратного контроля цифровых автоматов [Текст] / Н.С. Щербаков, Б.П. Подкопаев. – М.: Машиностроение, 1982. – 191 с.
10. Johnson B.W. Design and Analysis of Fault-Tolerant Digital Systems. – Massachusetts.: Addison-Wesley, 1989. – P.584.

Крашенінін Олександр Семенович, д-р техн. наук, професор, кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу, Український державний університет залізничного транспорту. Тел.: (057) 730-19-99. E-mail: glelan@mail.ru.
 Бринський І.В., магістрант кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу, Український державний університет залізничного транспорту.
 Пупій М.М., магістрант кафедри експлуатації та ремонту рухомого складу, Український державний університет залізничного транспорту.

Рухомий склад залізниць

Krashenin Olexsandr, doct. of techn. sciences, professor, Department of maintenance and repair of rolling stock, Ukrainian State University of Railway Transport, tel.: (057) 730-19-99. E-mail: glelan@mail.ru.

Brunskyy I. V., undergraduate of the maintenance and repair of rolling stock Ukrainian State University of Railway Transport.

Pupiy M. M., undergraduate of the maintenance and repair of rolling stock Ukrainian State University of Railway Transport.

Наукова праця здана до друку 21.09.2015 р.