

Л. В. ДУБИНЕЦЬ (ДІПТ), О. І. МОМОТ (Придніпровська залізниця)

## ВПЛИВ УНІФІКАЦІЇ РЕЛЕЙНИХ ЕЛЕМЕНТІВ НА НАДІЙНІСТЬ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ РУХОМИМ СКЛАДОМ

У статті з використанням теорії імовірності досліджено вплив зменшення типів запасних реле на рівень їхньої безвідмовної роботи. Показана доцільність проведення уніфікації усіх видів реле, які застосовуються у системах керування рухомим складом залізниць, з використанням сучасних мікроконтролерів.

В статье с использованием теории вероятности исследовано влияние уменьшения типов запасных реле на уровень их безотказной работы. Показана целесообразность проведения унификации всех видов реле, которые применяются в системах управления подвижным составом железных дорог, с использованием современных микроконтроллеров.

In clause with use of the theory of probability the influence of reduction of types of spare relays on a level of their trouble-free work is investigated. The expediency of realization of unification of all kinds of the relay is shown which are applied in control systems of the rolling stock of iron roads, with use of modern microcontrollers.

У теперішній час є реальна можливість суттєво підвищити уніфікацію релейних елементів систем керування рухомим складом (РС) шляхом розробки реле із застосуванням мікропроцесорної техніки. В університеті та на Придніпровській залізниці накопичено певний досвід з уніфікації реле РС. Наприклад, проходять експлуатаційні випробування досвідні зразки уніфікованого реле часу, розробленого із застосуванням сучасних мікроконтролерів. Це реле забезпечує витримку часу до 100 с та має такі параметри, що може бути застосовано замість реле часу усіх типів, які використовуються у схемах діючого РС. Є певний досвід з розробки та застосування уніфікованих проміжних реле, реле часу, напруги, диференціальних та перевантаження.

При використанні уніфікованих реле виникає задача визначення їх раціонального запасу при обслуговуванні РС. Критерієм при вирішенні цієї задачі можуть бути як економічні, так і технічні показники. Враховуючи, що вартість реле та експлуатаційні витрати на їх утримання відносно невеликі, приймаємо за критерій технічні показники – забезпечення якомога більшого значення ймовірності  $P_n(T_{заб})$  безвідмовної роботи системи керування. Кількість запасних реле даного виду (реле часу, напруги, проміжне і т. п.) повинна бути не менша, ніж потреба у них за період  $T_{заб}$ . Період  $T_{заб}$  – час від моменту встановлення факту несправності реле під час ремонту (технічного огляду) до повного його відновлення. Мається на увазі, що несправне реле замінили відразу запасним, а перше віддали у цех для відновлення. Кількість

запасних реле відповідає кількості відмов реле даного виду за період  $T_{заб}$ .

Параметри елементів уніфікованого електронного реле можуть бути прийняті такими, що кількість відмов припрацювання буде незначна. Це можливо досягнути за рахунок, наприклад, запасу по потужності, зворотній напрузі і т. п. Тому при ретельному підборі елементів реле та при якісному контролі процесу його складання можна вважати, що відмови під час припрацювання відсутні.

Основними є раптові відмови, які виникають у період нормальної експлуатації і які добре описує експоненціальний закон розподілу часу безвідмовної роботи [1; 2]. При достатньо великій кількості одиниць рухомого складу можна вважати, що зміна реле кожного типу відбувається із сталою інтенсивністю.

Потік відмов реле характеризується:

1) властивістю стаціонарності, оскільки ймовірність відмови реле у інтервалі часу  $T_{заб}$  залежить тільки від тривалості інтервалу часу  $T_{заб}$  і не залежить від початкового моменту  $t_0$ , від якого відраховується  $T_{заб}$ ;

2) відсутністю післядії, оскільки для будь-яких відрізків часу, що не перетинаються, кількість реле, які відмовили за час  $T_{заб}$ , не залежить від кількості відмов будь-які інші відрізки часу;

3) умовою ординарності, оскільки ймовірність виникнення на елементарному відрізку часу  $\alpha T_{заб}$  двох або більше відмов мізерно мала в порівнянні з ймовірністю виникнення однієї відмови.

З урахуванням вищенаведеного приймаємо, що потік відмов реле – найпростіший пуассонівський з математичним сподіванням  $\alpha = \lambda T_{\text{заб}}$ , де  $\lambda$  – інтенсивність потоку відмов для реле даного виду (реле часу, проміжні і т. д.). Досвід експлуатації показує, що можливо прийняти  $T_{\text{заб}} = 24$  год. За час  $T_{\text{заб}}$  усі несправні реле повинні бути відремонтовані.

При наявності  $m$  запасних реле даного виду ймовірність  $P_n(T_{\text{заб}})$  у відповідності із законом Пуассона запишемо так:

$$P_n(T_{\text{заб}}) = \frac{a^m}{m!} e^{-a} \quad (m = 1, 2, \dots, \infty), \quad (1)$$

де  $a = \frac{K_{\text{м.з}} n T_{\text{заб}}}{m_t}$  – середня витрата реле даного виду за інтервал часу  $T_{\text{заб}}$  при середньому напруженні до відмови  $m_t = \frac{1}{\lambda}$ ;

$\lambda$  – інтенсивність потоку відмов для реле даного виду;

$n$  – загальна кількість реле даного виду, яка знаходиться в експлуатації;

$K_{\text{м.з}}$  – коефіцієнт марних витрат. Цей коефіцієнт враховує те, що кількість реле, які замінюють при експлуатації РС завжди більше кількості відмов (частина реле замінюється марно). Чим менша кваліфікація спеціалістів, тим більше марних замін. Із досвіду приймаємо для електронних уніфікованих реле  $K_{\text{м.з}} = 1, 2, \dots, 1, 3$ .

Тобто за допомогою запасних реле відновлюється працездатність системи керування при фіктивному потоці відмов, для якого інтенсивність відмов дорівнює  $K_{\text{м.з}} \lambda$ .

Конструкція реле та спосіб їх включення в схему повинні забезпечувати їх заміну за час  $\tau < \tau_{\text{т.о}}$ , де  $\tau_{\text{т.о}} = 1$  год – час технічного огляду РС.

Ймовірність  $P_n(T_{\text{заб}})$  з урахуванням відновлення і наявності  $m$  запасних реле може бути визначена за формулою ймовірності складної події:

$$P_n(T_{\text{заб}}, V) = P_1(T_{\text{заб}}) V(\tau_{\text{т.о}}) P(T_{\text{заб}} - \tau_{\text{т.о}}) + \\ + P_2(T_{\text{заб}}) V^2(\tau_{\text{т.о}}) P(T_{\text{заб}} - \tau_{\text{т.о}}) + \dots \\ \dots + P_i(T_{\text{заб}}) V^m(\tau_{\text{т.о}}) P(T_{\text{заб}} - \tau_{\text{т.о}}), \quad (2)$$

де  $P_n(T_{\text{заб}})$  – ймовірність виникнення рівно  $m$  відмов реле даного виду за час  $T_{\text{заб}}$ , яка визначається за формулою (1);

$V(\tau_{\text{т.о}})$  – ймовірність заміни несправного реле за час  $\tau \leq \tau_{\text{т.о}}$ ;

$P(T_{\text{заб}} - \tau_{\text{т.о}})$  – ймовірність безвідмовної роботи системи керування за умови відсутності запасних реле;

$P_i(T_{\text{заб}})$  – ймовірність виникнення  $i$  відмов реле даного типу за час  $T_{\text{заб}}$ .

Оскільки  $\tau_{\text{т.о}} \ll T_{\text{заб}}$ , то:

$$P(T_{\text{заб}} - \tau_{\text{т.о}}) \approx e^{-a}. \quad (3)$$

Із рівнянь (1), (2), (3) отримуємо

$$P_n(T_{\text{заб}}, V) = e^{-a} \sum_{k=0}^m V^k(\tau_{\text{т.о}}) \frac{a^k}{k!}. \quad (4)$$

При умові  $\tau < \tau_{\text{т.о}}$  приймаємо  $V(\tau_{\text{т.о}}) = 1$ , тобто за час  $\tau_{\text{т.о}} = 1$  год несправне реле буде замінено.

Тоді із рівняння (4) отримуємо

$$P_n(T_{\text{заб}}) = e^{-a} \sum_{k=0}^m \frac{a^k}{k!} = \\ = 1 - \sum_{k=m+1}^{\infty} \frac{a^k}{k!} e^{-a} = 1 - q(m+1), \quad (5)$$

де  $q = \sum_{k=m}^{\infty} \frac{a^k}{k!} e^{-a}$  – табульована функція [3].

Із формули (5) видно, що зменшення кількості запасних реле  $m$  за рахунок уніфікації реле даного виду підвищує ймовірність безвідмовної роботи системи керування  $P_n(T_{\text{заб}})$ .

Реальні можливості підвищення  $P_n(T_{\text{заб}})$ , наприклад, для реле часу за рахунок зменшення  $m$  (завдяки уніфікації) можна оцінити за даними наведеними в таблиці.

Таким чином, в експлуатації знаходиться біля десяти тисяч реле часу дев'ятнадцяти типів. Частка реле кожного типу дорівнює від 0,001 (РЭВ-818) до 0,2 (РА-226). У залежності від долі цієї частки потрібно мати в запасі певну кількість реле кожного типу. Очевидно, що при цьому значення  $m$  у формулі (5) буде досить великим.

Якщо ж в ідеальному випадку усі дев'ятнадцять типів реле замінити одним типом, то  $m$  значно зменшиться, а  $P_n(T_{\text{заб}})$  суттєво збільшиться. Аналогічний ефект буде і при уніфікації інших типів реле.

## Аналіз уніфікації реле часу в схемах РС

Серія РС	Тип реле, позначення у схемі	Кількість реле на усіх одиницях РС даної серії по мережі залізниць	Частка даного типу реле в загальній кількості $n$ реле по мережі залізниць
ЭР-9м	РЭВ-811 (РВП)	540	0,054
	РЭВ-882 (РВК)	500	0,050
	РЭВ-884 (РВД)	500	0,050
ЧС2	ТК (407,1-4)	680	0,068
	ТВ (418,438)	340	0,034
Тепловоз 2М62	ВЛ-50	300	0,030
	РЭВ-812	300	0,030
Тепловоз 2ТЭ116	РЭВ-800 (РВ-2, РВ-3, РВ-4)	1800	0,187
ДР1	РВП-2	150	0,015
Вагони 61-425 (ЦМВО-66)	РЭВ-814	500	0,050
ЧС4	ТЛb-4 (263, 371)	200	0,020
	CRINI (356)	100	0,010
	RP40LTL (851С, 853С)	200	0,020
ЭР-2Р	РЭВ-818 (РВД1)	10	0,001
	РЭВ-811 (РВД2)	10	0,001
ВЛ10, ВЛ10 <sup>у</sup>	ЭВ-143 (134-1)	200	0,020
	РЭВ-294 (278-1)	600	0,060
ВЛ60 <sup>к</sup> , ВЛ80 <sup>к</sup>	РЭВ-292 (204, 205)	400	0,040
	РЭВ-312 (211, 212)	600	0,060
Тепловоз ЧМЭ-3	РА-226	2000	0,200
Разом	19 типів	$n = 9930$	1

## БИБЛИОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Шишенок А. А. Основы теории надежности и эксплуатации радиоэлектронной техники. – М.: Советское радио, 1964. – 283 с.
2. Надежность. Теория и практика / Под ред. Б. Р. Левина. – М.: Мир, 1965. – 524 с.
3. Шор Я. Б., Кузьмин Ф. И. Таблицы для анализа и контроля надежности. – М.: Советское радио, 1970. – 288 с.
4. Момот А. И. Унификация релейных элементов в схемах подвижного состава железных дорог Украины: Дис..., ДИИТ, 1999.

Надійшла до редколегії 08.09.03.