

К вопросу оптимизации технического содержания контактной сети

Владислав А. Володарский, кафедра систем обеспечения движения, Красноярский институт железнодорожного транспорта, Красноярск, Россия, e-mail: volodarsky.vladislav@yandex.ru

Алексей А. Орленко, Красноярский институт железнодорожного транспорта, Красноярск, Россия, e-mail: orlenkoai@yandex.ru



Владислав А.
Володарский



Алексей А.
Орленко

Резюме. Цель – предложить и исследовать математическую модель оптимизации технического содержания устройств контактной сети, отличающуюся учетом глубины восстановления ресурса. **Методы.** В результате анализа состояния вопроса предложена стратегия и математическая модель оптимизации технического содержания контактной сети как разновидность протяженного объекта, предусматривающая проведение предупредительных замен и предупредительных ремонтов с минимальным аварийным ремонтом при отказах контактной сети. Рассмотрены также частные случаи общей модели при проведении только предупредительных замен или только предупредительных ремонтов. Для учета глубины восстановления ресурса при проведении предупредительного ремонта использован параметр, означающий «возраст» протяженного объекта, определяемый как разница между его доремонтным и межремонтным ресурсом, отнесенная к доремонтному ресурсу. **Результаты.** При заданных значениях числа предупредительных ремонтов и глубины восстановления ресурса получены выражения для определения оптимальной периодичности предупредительных ремонтов и предупредительных замен контактной сети, а также оптимальных удельных эксплуатационных затрат. При заданных значениях периодичности предупредительных замен и глубины восстановления ресурса получено выражение для определения оптимального числа предупредительных ремонтов до замены контактной сети. **Выводы.** Для учета глубины восстановления ресурса после проведения ПР целесообразно использовать параметр, определяемый как разница между доремонтным и межремонтным ресурсом, отнесенная к доремонтному ресурсу контактной сети. Предлагаемая математическая модель оптимизации технического содержания позволяет при заданной глубине восстановления ресурса определять оптимальную периодичность предупредительных ремонтов и замен устройств контактной сети, а также оптимальное количество предупредительных ремонтов за период срока службы контактной сети.

Ключевые слова: ресурс, глубина восстановления, ремонт, замена, математическая модель, оптимизация.

Формат цитирования: Володарский В.А., Орленко А.А. К вопросу оптимизации технического содержания контактной сети // Надежность. 2016. №3. С. 23-25. DOI: 10.21683/1729-2646-2016-16-3-23-25

Состояние вопроса

Под техническим содержанием согласно [1] будем понимать совокупность мероприятий, направленных на поддержание и восстановление работоспособного состояния техники и на восстановление ее ресурса.

В процессе эксплуатации контактной сети (КС) проводится техническое обслуживание (ТО), текущие (ТР) и капитальные (КР) ремонты, а также реконструкция, эквивалентная предупредительной замене (ПЗ) [2, 3]. При выполнении ТО в виде осмотров, обследований, испытаний и измерений устанавливается только техническое состояние КС [3]. При этом согласно [4] при выполнении ТР происходит только восстановление работоспособности, а при выполнении КР – кроме того и восстановление до определенного уровня ресурса устройств. Полное восстановление ресурса происходит только при замене устройств КС.

В настоящее время в теории надежности [5, 6] разработаны методические вопросы оптимизации ПЗ с

аварийными заменами (АЗ), когда полностью восстанавливаются первоначальная надежность устройств, или ПЗ с минимальным аварийным ремонтом (МАР) при отказах. В перечисленных публикациях учитываются только два крайних случая глубины восстановления ресурса: никакого обновления, когда выполняется МАР, и полное обновление, когда выполняется АЗ или ПЗ. Практический же интерес представляют промежуточные значения глубины восстановления ресурса между этими крайними случаями.

Цель статьи – предложить и исследовать математическую модель оптимизации технического содержания устройств КС, отличающуюся учетом глубины восстановления ресурса.

Стратегия и математическая модель оптимизации технического содержания

Для учета глубины восстановления ресурса предлагается использовать согласно [7] параметр $a = T_{др} - T_{мр}$,

означающий «возраст» контактной сети после проведения предупредительного капитального ремонта (ПР). Здесь $T_{др}$ и $T_{мр}$ – соответственно доремонтный и межремонтный ресурс [7]. В дальнейшем при разработке математических моделей оптимизации технического содержания для оценки глубины восстановления ресурса целесообразно использовать безразмерный параметр $\alpha = a/T_{др}$. Если $\alpha = 0$, то это означает, что проведена замена КС. Если проводится ПР, например, через время τ , то «возраст» КС уменьшается от τ до $\alpha\tau$.

КС с позиций обеспечения надежности относится к объектам большой протяженности с множеством последовательно соединенных различных элементов. В процессе устранения отказов восстанавливается только отдельный поврежденный участок КС (в терминах теории надежности это МАР), что практически не изменяет текущих показателей надежности КС в целом. В связи с этим рассмотрим стратегию технического содержания, при которой отказы работоспособности устраняются МАР, а после проведения n ПР осуществляется замена КС.

Характер изменения интенсивности отказов (ИО) от времени эксплуатации при этой стратегии представлен на рис. 1. После проведения МАР значение ИО не изменяется. После проведения ПР с периодичностью x и глубиной восстановления ресурса α ИО снижается до значения $\lambda(\alpha)$, а после проведения ПЗ с периодичностью x_p – до нуля. ИО в момент проведения ПР и ПЗ составляет $\lambda(x+\alpha)$. Здесь значения x и x_p измеряются в единицах ресурса.

Математическая модель оптимизации технического содержания КС при этой стратегии определяется из выражения

$$y = (1 + n\gamma + \varepsilon \int_0^{x_p} \lambda(x) dx) / x_p, \quad (1)$$

где y – относительные удельные эксплуатационные затраты;

γ – параметр стоимости ПР;

ε – параметр стоимости МАР;

λ – ИО;

Количество отказов на интервале $0 - x_p$ определится как

$$\int_0^{x_p} \lambda(x) dx = \int_0^{\alpha} \lambda(x) dx + (n+1) \int_{\alpha}^{x+\alpha} \lambda(x) dx = n \ln P(\alpha) - (n+1) \ln P(x+\alpha), \quad (2)$$

где P – вероятность безотказной работы.

Подставив значения $\int_0^{x_p} \lambda(x) dx$ из (2) в (1), и учитывая, что $x_p = \alpha + (n+1)x$, получим математическую модель вида

$$y = \frac{1 + n\gamma + \varepsilon (n \ln P(\alpha) - (n+1) \ln P(x+\alpha))}{\alpha + (n+1)x}. \quad (3)$$

Рассмотрим два частных случая модели (3):

при $n = 0$ (проводятся только замены, которые полностью восстанавливают первоначальный ресурс), когда $\alpha = 0$, получим математическую модель вида

$$y = (1 - \varepsilon \ln P(x)) / x,$$

которая известна как модель ПЗ с минимальным аварийным ремонтом при отказе [5];

при $n \rightarrow \infty$ (проводятся только ПР, которые частично восстанавливают первоначальный ресурс) после раскрытия неопределенности в выражении (3) получим математическую модель вида

$$y = (\gamma - \varepsilon (\ln P(x+\alpha) - \ln P(\alpha))) / x,$$

которая известна как модель ПР с МАР при отказе [7].

С использованием выражения (3) при заданных значениях n и α оптимальная периодичность ПР x_0 и минимум удельных эксплуатационных затрат y_0 определим из условия $\partial y / \partial x = 0$ как

$$\begin{aligned} (\alpha + (n+1)x_0) \lambda(x_0 + \alpha) + (n+1) \ln P(x_0 + \alpha) - \\ - n \ln P(\alpha) = \frac{(1 + n\gamma)}{\varepsilon}; \\ y_0 = \varepsilon \lambda(x_0 + \alpha). \end{aligned}$$

Периодичность ПР может быть определена из выражения

$$x = (x_p - \alpha) / (n+1). \quad (4)$$

$$\text{Тогда } x + \alpha = (x_p + n\alpha) / (n+1). \quad (5)$$

Подставив полученные значения x из (4) и $x + \alpha$ из (5) в выражение (3), преобразуем его к виду

$$y = \left(1 + n\gamma + \varepsilon \left(n \ln P(\alpha) - (n+1) \ln P \left(\frac{x_p + n\alpha}{n+1} \right) \right) \right) / x_p \quad (6)$$

С использованием выражения (6) при заданных значениях n и α оптимальную периодичность ПЗ x_{p0} и минимум удельных эксплуатационных затрат найдем из условия $\partial y / \partial x_p = 0$ как

$$\begin{aligned} x_{p0} \lambda \left(\frac{x_{p0} + n\alpha}{n+1} \right) + (n+1) \ln P \left(\frac{x_{p0} + n\alpha}{n+1} \right) - \\ - n \ln P(\alpha) = \frac{(1 + n\gamma)}{\varepsilon}; \\ y_0 = \varepsilon \lambda \left(\frac{x_{p0} + n\alpha}{n+1} \right). \end{aligned}$$

С использованием выражения (6) при заданных значениях x_p и α оптимальное количество ПР n_0 определим из условия $\partial y / \partial n = 0$ как

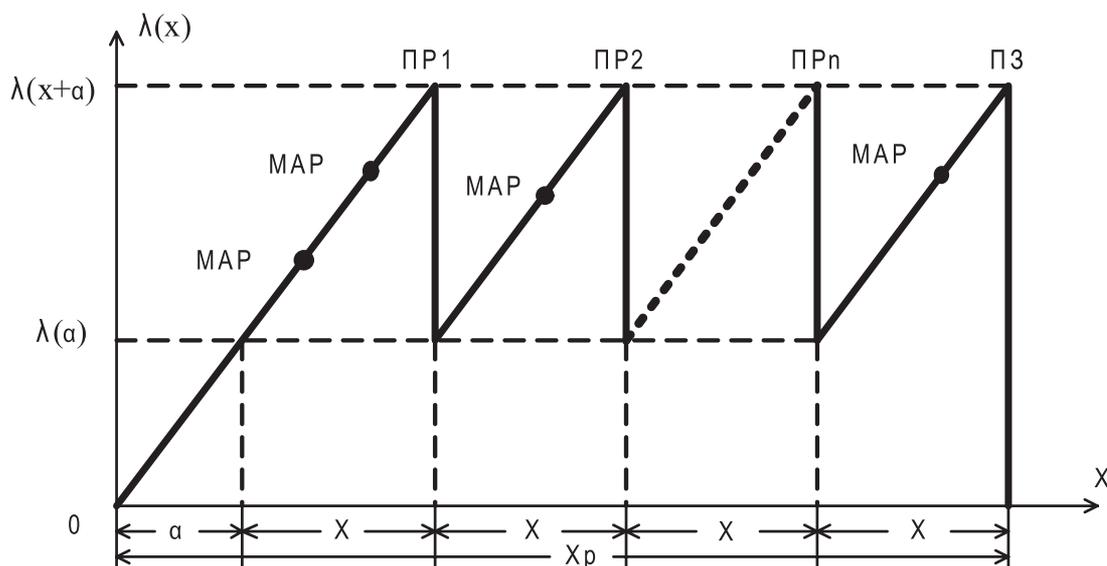


Рис. 1. Изменение ИО в случае ПР и ПЗ с МАР

$$\frac{x_p - \alpha}{n_0 + 1} \lambda \left(\frac{x_p + n_0 \alpha}{n_0 + 1} \right) + \ln P \left(\frac{x_p + n_0 \alpha}{n_0 + 1} \right) - \ln P(\alpha) = \gamma / \varepsilon.$$

Заключение

Для учета глубины восстановления ресурса после проведения ПР целесообразно использовать параметр, определяемый как разница между доремонтным и межремонтным ресурсом, отнесенная к доремонтному ресурсу КС.

Предлагаемая математическая модель оптимизации технического содержания позволяет при заданной глубине восстановления ресурса определять оптимальную периодичность ПР и замены КС, а также оптимальное количество ПР за период срока службы КС.

Библиографический список

1. ГОСТ 32192-2013 Надежность в железнодорожной технике. Основные понятия. Термины и определения.
2. СТО РЖД 1.12.001-2007 Устройства электрификации и электроснабжения. Техническое обслуживание и ремонт. Общие требования.
3. Правила устройства и технической эксплуатации контактной сети электрифицированных железных дорог

(ЦЭ – 868). – М.: Трансиздат, 2002. – 184 с.

4. ГОСТ 18322 Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения.

5. Барлоу Р., Прошан Ф. Математическая теория надежности. – М.: Советское радио, 1961. – 488 с.

6. Байхельт Ф., Франкен П. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход. – М.: Радио и связь, 1988. – 392 с.

7. Володарский В.А. К вопросу оптимизации предупредительных замен и ремонтов технических устройств // Надежность. – 2011. – № 2. – С. 49-59.

Сведения об авторах

Владислав А. Володарский, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, профессор, Красноярский институт железнодорожного транспорта, Красноярск, Россия, тел. +7 (391) 221 60 72, e-mail: volodarsky.vladislav@yandex.ru

Алексей И. Орленко, кандидат технических наук, доцент, Красноярский институт железнодорожного транспорта, Красноярск, Россия, тел. +7 (391) 271 67 40, e-mail: orlenkoai@yandex.ru

Поступила 29.02.2016