

УДК 621.3.019

В. А. Володарский, канд. техн. наук

Кафедра «Системы обеспечения движения поездов»,
Красноярский институт железнодорожного транспорта

НАДЕЖНОСТЬ АППАРАТУРЫ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ, ПРОШЕДШЕЙ РЕМОНТ

В статье приведены результаты исследований зависимости средней интенсивности отказов и средней наработки на отказ ремонтируемой аппаратуры автоматики и телемеханики от периодичности предупредительных замен и глубины восстановления надежности, а также от коэффициента вариации распределений, используемых для описания отказов аппаратуры.

Установлено, что значение средней интенсивности отказов с уменьшением периодичности и количества замен на отремонтированную аппаратуру от начала эксплуатации до замен на новую аппаратуру снижается, а с уменьшением глубины восстановления надежности аппаратуры – возрастает. Варьируя глубину восстановления надежности или периодичность и количество замен на отремонтированную аппаратуру от начала эксплуатации до замен на новую аппаратуру, можно обеспечить заданное значение средней интенсивности отказов аппаратуры автоматики и телемеханики.

Наработка на отказ аппаратуры существенно зависит от глубины восстановления надежности при ремонте. Существуют граничные значения периодичности замен и глубины восстановления надежности, при которых ремонты нецелесообразны, так как наработка на отказ аппаратуры в этих случаях становится ниже, чем при отсутствии такого ремонта. Существуют предельные значения глубины восстановления надежности, при которых проведение ремонтов с любой периодичностью снижает наработку на отказ аппаратуры и такие ремонты нецелесообразны.

Из результатов исследований следует, что для аппаратуры, у которой процессы старения и износа наиболее выражены, имеется больше причин для ремонтов. В условиях эксплуатации за счет изменения периодичности предупредительных замен и глубины восстановления надежности можно обеспечить требуемое значение средней наработки на отказ аппаратуры.

ремонт; замена; периодичность; надежность; глубина восстановления; интенсивность отказов; наработка на отказ

Введение

Исследованиям надежности и эффективности функционирования, а также оптимизации технического содержания систем железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) уделяется повышенное внимание специалистов отрасли, том числе на страницах журнала «Автоматика на транспорте» [1–4]. В нашей предыдущей статье [5] изложена методика для расчета периодичности предупредительных замен аппаратуры ЖАТ с учетом глубины восстановления надежности при ее ремонте в ремонтно-техническом участке

дистанции. Глубину восстановления надежности после ремонта предложено оценивать как разницу между доремонтным и межремонтным ресурсом аппаратуры.

Известно, что проведение предупредительных замен целесообразно только для устройств с постепенными отказами, когда интенсивность отказов со временем эксплуатации монотонно возрастает [6]. Процессы износа и старения, описанные в [7], приводят к постепенным отказам устройств и аппаратуры ЖАТ. Для описания постепенных отказов, как правило, используются распределение Вейбулла и гамма-распределение [8], а также распределение косинуса [9]. Предупредительные замены предотвращают рост интенсивности отказов, обеспечивая необходимый уровень эксплуатационной надежности аппаратуры ЖАТ.

Представляется целесообразным оценивать эффективность предупредительных замен аппаратуры ЖАТ по улучшению наиболее наглядных показателей надежности – таких, как интенсивность отказов и наработка на отказ.

1 Интенсивность отказов аппаратуры, прошедшей ремонт

Поскольку распределение наработки на отказ при постепенных отказах не подчиняется экспоненциальному распределению, представляется целесообразным использовать среднюю интенсивность отказов за некоторое заданное время, например за период предупредительной замены. В [10] рассмотрен случай проведения идеального ремонта, при котором происходит полное восстановление первоначальной надежности. При проведении предупредительной замены с периодичностью τ интенсивность постепенных отказов $\lambda(t)$, связанных с износом и старением, снижается до нуля (рис. 1). При этом изменяется распределение наработки на отказ, поскольку плавная зависимость интенсивности отказов от времени эксплуатации t заменяется на пилообразную кривую с размахом от нуля до $\lambda(\tau)$, а затем снова до нуля. Среднее значение интенсивности отказов $\bar{\lambda}$ (см. пунктир на рис. 1) при предупредительной замене определяется из выражения [10]:

$$\bar{\lambda} = \tau^{-1} \int_0^{\tau} \lambda(t) dt = -\ln P(\tau) \tau^{-1}, \quad (1)$$

где $P(\tau)$ – вероятность безотказной работы при наработке τ .

В общем случае для восстановления надежности после n замен на отремонтированную аппаратуру (предупредительный ремонт – ПР) осуществляется замена на новую аппаратуру (предупредительная замена – ПЗ). Характер изменения интенсивности отказов представлен на рис. 2. После проведения ПР с периодичностью τ и глубиной восстановления α интенсивность отказов аппа-

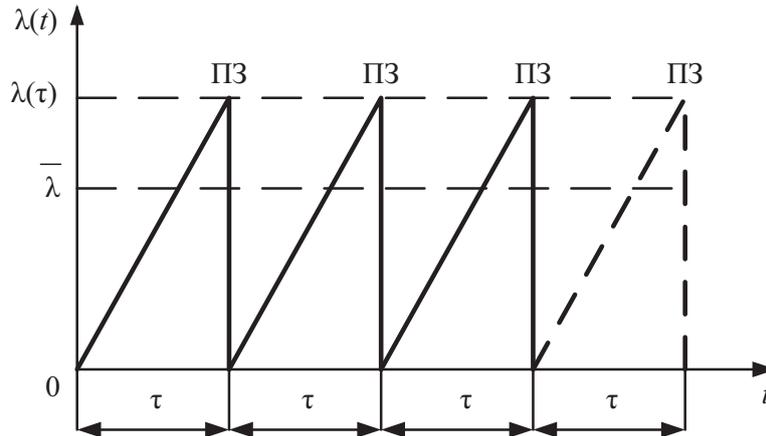


Рис. 1. Изменение интенсивности отказов при предупредительной замене

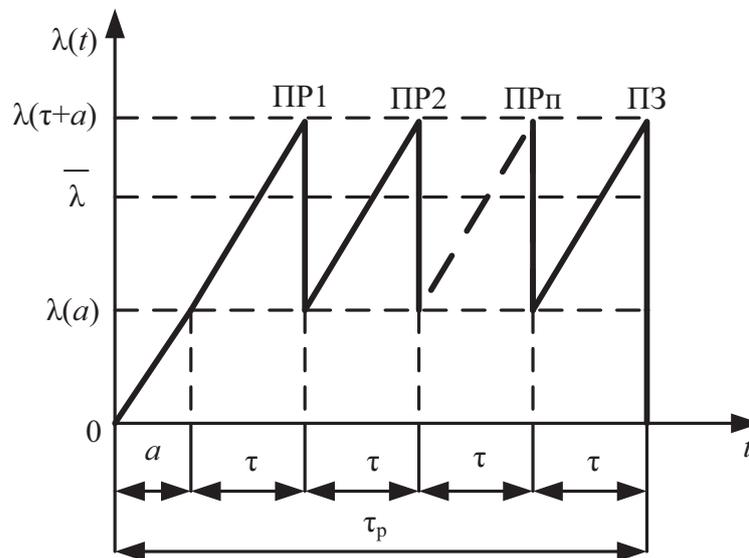


Рис. 2. Изменение интенсивности отказов при предупредительном ремонте и предупредительной замене

ратуры снижается до значения $\lambda(a)$, а после проведения ПЗ с периодичностью τ_p – до нуля. Интенсивность в момент проведения ПР и ПЗ составляет $\lambda(\tau + a)$. Таким образом, кривая интенсивности отказов заменяется на пилообразную с размахом от $\lambda(a)$ до $\lambda(\tau + a)$ и затем до $\lambda(a)$ при проведении ПР и от $\lambda(\tau + a)$ до нуля при проведении ПЗ. С уменьшением периодичности ПР максимумы пилообразной кривой интенсивности отказов приближаются к прямой $\lambda(a)$.

Средняя интенсивность отказов $\bar{\lambda}$, отмеченная на рис. 2 пунктирной линией, на интервале $0 - \tau_p$ определяется из выражения

$$\bar{\lambda} = \tau_p^{-1} \int_0^{\tau_p} \lambda(t) dt, \quad (2)$$

где $\int_0^{\tau_p} \lambda(t) dt = \int_0^a \lambda(t) dt + (n+1) \int_a^{\tau+a} \lambda(t) dt = n \ln P(a) - (n+1) \ln P(\tau+a)$; $P(a)$ и

$P(\tau+a)$ – вероятность безотказной работы соответственно при наработке a и $\tau+a$, здесь a – глубина восстановления надежности.

Подставив значение $\int_0^{\tau_p} \lambda(t) dt$ в выражение (2) и учитывая, что $\tau_p = a + (n+1)\tau$ (см. рис. 2), получим

$$\bar{\lambda} = [n \ln P(a) - (n+1) \ln P(\tau+a)] / [a + (n+1)\tau]. \quad (3)$$

Рассмотрим два частных случая:

1) при $n=0$, когда проводятся только замены на новую аппаратуру, и $a=0$, из (3) получим уравнение (1);

2) при $n \rightarrow \infty$, когда проводятся только замены на отремонтированную аппаратуру, после раскрытия неопределенности получим

$$\bar{\lambda} = [\ln P(a) - \ln P(\tau+a)] \tau^{-1}. \quad (4)$$

В случае, когда отказы аппаратуры описываются распределением косинуса, выражение (3) имеет вид

$$\bar{\lambda} = [n \ln \cos a - (n+1) \ln \cos(\tau+a)] / [a + (n+1)\tau]. \quad (5)$$

С использованием выражения (5) проведены исследования зависимости средней интенсивности отказов от количества и периодичности ПР и глубины восстановления надежности. Установлено, что с уменьшением количества ПР до ПЗ значение $\bar{\lambda}$ снижается. При уменьшении параметра a (увеличении глубины восстановления надежности) значение $\bar{\lambda}$ снижается, а при $a=0$ значение $\bar{\lambda}$ определяется только периодичностью ПЗ.

Таким образом, уменьшая периодичность или количество ПР до ПЗ или увеличивая глубину восстановления надежности (путем расширения объема работ по замене или восстановлению составных частей аппаратуры при ее ремонте), можно обеспечить заданное значение средней интенсивности отказов аппаратуры.

2 Нарботка на отказ аппаратуры, прошедшей ремонт

Приведем выражения для определения средней наработки на отказ при ПЗ на отремонтированную аппаратуру с учетом глубины восстановления надежности. Затем исследуем влияние периодичности ПР и глубины восста-

новления надежности на значения наработки на отказ для разных распределений, используемых для описания процессов старения и износа аппаратуры. Средняя наработка на отказ при ПЗ на новую аппаратуру $T(\tau)$ определяется согласно [6]:

$$T(\tau) = \int_0^{\tau} P(t) dt / (1 - P(\tau)), \quad (6)$$

где τ – периодичность ПЗ; $P(t)$ и $P(\tau)$ – вероятность безотказной работы соответственно за периоды времени t и τ .

Выражение (6) справедливо для случая, когда надежность аппаратуры полностью восстанавливается. Это означает, что «возраст» аппаратуры после ПЗ как бы «возвращается» к нулю. Вероятность безотказной работы при проведении ПР с периодичностью τ и глубиной восстановления надежности α определяется, согласно [10], как условная вероятность безотказной работы $P(\tau/\alpha)$ аппаратуры, имеющей «возраст» α , из выражения

$$P(\tau/\alpha) = P(\tau + \alpha) / P(\alpha). \quad (7)$$

Для стареющей аппаратуры при $\tau > 0$ значение $P(\tau/\alpha)$ убывает по α . Это означает следующее: чем меньше глубина выполнения ремонта, тем ниже значение вероятности безотказной работы аппаратуры. Подставив в выражение (6) вместо $P(t)$ и $P(\tau)$ значения $P(t/\alpha)$ и $P(\tau/\alpha)$ из (7), получим уравнение для определения наработки на отказ аппаратуры при проведении ПР $T(\tau/\alpha)$ вида

$$T(\tau/\alpha) = \int_{\alpha}^{\tau+\alpha} P(t) dt / (P(\alpha) - P(\tau + \alpha)). \quad (8)$$

Если проводятся замены, то из выражения (8), как частный случай при $\alpha = 0$, получим уравнение (6). Для удобства расчетов и анализа полученных результатов приведем уравнение (8) к безразмерному виду:

$$T_* = T(\tau/\alpha) / T = \int_{\tau}^{x+\tau} P(u) du / (P(\alpha) - P(x + \alpha)), \quad (9)$$

где T_* – относительная (нормализованная) наработка на отказ при проведении ПР; T – наработка на отказ аппаратуры, когда ПР не проводятся; $x = \tau / T$; $\alpha = \alpha / T$; $u = t / T$ – соответственно периодичность ПР, глубина восстановления надежности и время в единицах наработки на отказ.

При $x = 0$ из выражения (9) после раскрытия неопределенности получим $T_* = 1 / \lambda(\alpha)$. Это означает, что наработка на отказ при проведении ПР не мо-

жет быть увеличена более чем на величину, обратную интенсивности отказов в точке оценки глубины восстановления надежности аппаратуры α . При ПЗ, когда $\alpha = 0$, получим $T_* = 1 / \lambda(0)$. Если $\lambda(0) = 0$, то $T_* \rightarrow \infty$. Это означает, что в данном случае при $x \rightarrow 0$ может быть обеспечена практически безотказная работа аппаратуры.

Известно, что предупредительные замены повышают надежность, если аппаратура является стареющим изделием, у которого интенсивность отказов со временем возрастает.

Рассмотрим два предельных случая.

1. Процессы старения в аппаратуре отсутствуют, что соответствует случаю экспоненциального распределения с коэффициентом вариации $V = 1$. Тогда, при $P(u) = \exp(-u)$, из выражения (9) получим $T_* = 1$. Это означает, что наработка на отказ не изменяется и проведение предупредительных замен нестареющей аппаратуры нецелесообразно.

2. Нарботка на отказ аппаратуры является детерминированной величиной, что соответствует случаю вырожденного распределения с $V = 0$. В этом случае, когда $P(u) = 1$ при $u \leq 1$ и $P(u) = 0$ при $u > 0$, из выражения (9) получим $T_* \rightarrow \infty$. Это означает, что при проведении предупредительных замен с периодичностью $x \leq 1$ обеспечивается абсолютно безотказная работа аппаратуры.

В случае распределения косинуса, когда $P(u) = \cos u$, а $V = 0,375$ [9], выражение (5) имеет вид

$$T_* = (\sin(x + \alpha) - \sin \alpha)(\cos \alpha - \cos(x + \alpha))^{-1}, \quad (10)$$

причем при $x = 0$ после раскрытия неопределенности получим $T_* = \operatorname{ctg} \alpha$.

При проведении ПЗ, когда $\alpha = 0$, из выражения (10) получим

$$T_* = \sin x(1 - \cos x)^{-1}.$$

Зависимости T_* от x при различных значениях α , построенные с использованием уравнения (10), представлены на рис. 3, на котором горизонтальной пунктирной линией показано значение $T_* = 1$, когда предупредительные замены не проводятся.

Из рис. 3 видно следующее. Во-первых, наработка на отказ аппаратуры существенно зависит от глубины восстановления надежности. Например, при периодичности ПР $x = 0,2$ и уменьшении глубины восстановления надежности, т.е. при увеличении α от 0 до 0,4, относительная наработка на отказ снижается с 9,97 до 1,83, а именно в 5,5 раза. Во-вторых, при $\alpha > 0$, начиная с некоторого значения периодичности ПР, которое назовем граничным x_r (см. вертикальные пунктирные линии на рис. 3), значение T_* становится меньшим единицы. Это означает, что проведение ПР ухудшает надежность аппа-

ратуры. Выражение для определения x_r найдем из уравнения (10) при условии $T_* = 1$:

$$x_r = \pi/2 - 2\alpha.$$

Аналогично при заданном значении x определяется граничное значение глубины восстановления аппаратуры α_r :

$$\alpha_r = \pi/4 - x/2. \quad (11)$$

Предельное значение глубины восстановления аппаратуры α_n , когда при любом значении периодичности ПР $T_* \leq 1$, найдем из условия $\lambda(\alpha_n) = 1$:

$$\alpha_n = \arctg 1 = \pi/4 \approx 0,786.$$

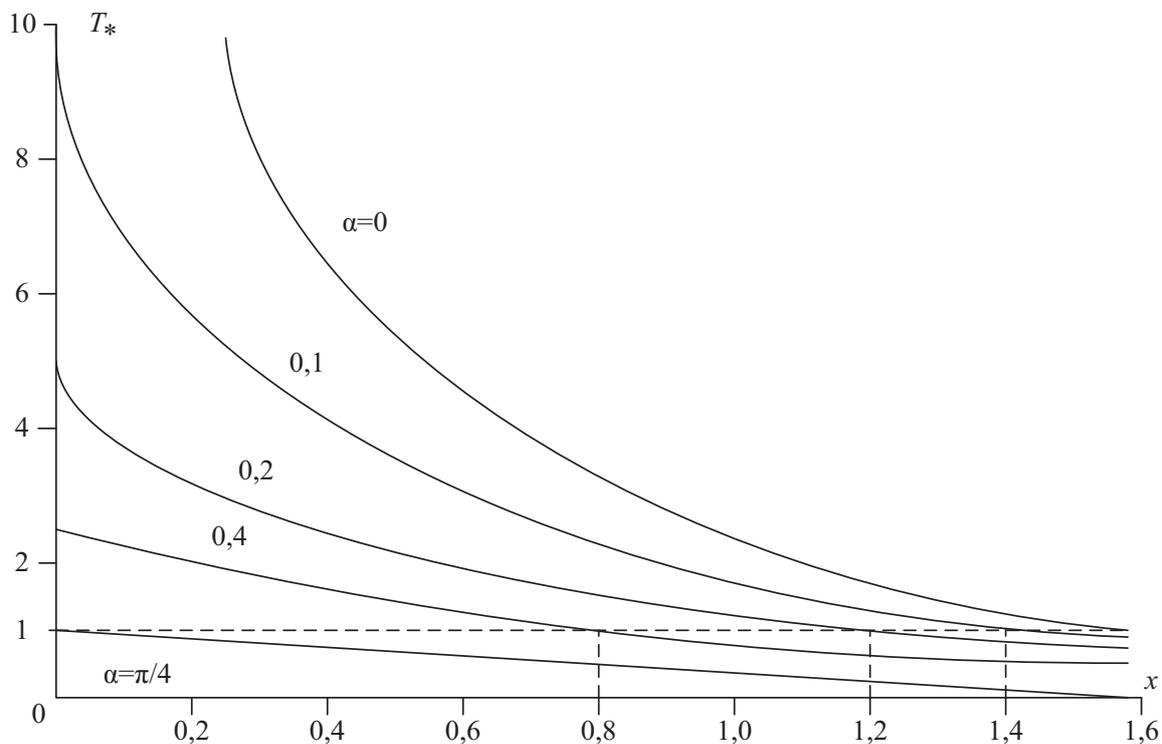


Рис. 3. Зависимости наработки на отказ при распределении косинуса от периодичности предупредительных замен и глубины восстановления надежности

На рис. 4 представлена построенная с использованием уравнения (11) зависимость α_r от x (см. прямую линию l). Если точка пересечения значений α_r и x лежит выше прямой l , то предупредительные замены при такой периодичности и глубине восстановления надежности аппаратуры нецелесообразны. В этом случае необходимо или уменьшить периодичность ПР, или увеличить глубину восстановления надежности (путем расширения объема работ по

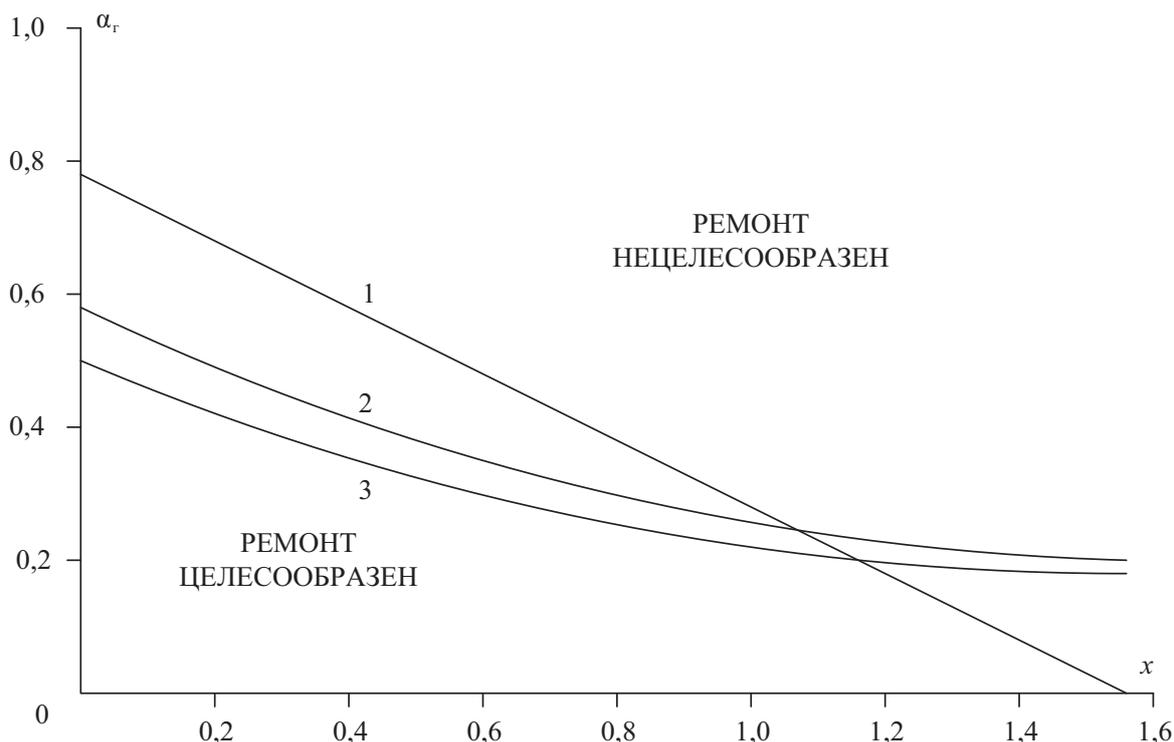


Рис. 4. Зависимости граничных значений глубины восстановления надежности от периодичности предупредительных замен

замене или восстановлению составных частей аппаратуры) до таких значений, чтобы точка пересечения α_r и x лежала ниже прямой 1.

В случае гамма-распределения, когда $P(u) = \exp(-mu) \sum_0^{m-1} (mu)^i / i!$ [8], при $m = 2$ ($V = 707$) из выражения (9) получим

$$T_* = \frac{(1 + \alpha) \exp(-2\alpha) - (1 + x + \alpha) \exp(-2(x + \alpha))}{(1 + 2\alpha) \exp(-2\alpha) - (1 + 2x + 2\alpha) \exp(-2(x + \alpha))}. \quad (12)$$

Уравнение для определения α_r найдем из выражения (12) при условии, что $T_* = 1$:

$$\alpha_r = x \exp(-2x) / (1 - \exp(-2x)). \quad (13)$$

Учитывая, что при $m = 2$ $\lambda(u) = 4u / (1 + 2u)$, предельное значение глубины восстановления надежности найдем из условия $\lambda(\alpha_n) = 1$: $\alpha_n = 0,5$. Зависимость α_r от x , построенная с использованием уравнения (13), представлена на рис. 4 (кривая 3).

В случае гамма-распределения при $m = 4$ ($V = 0,5$) граничные значения глубины восстановления надежности определены как абсциссы точек пересечения кривых $T_*(x)$, построенных с использованием выражения (9), с прямой $T_* = 1$. В этом случае предельное значение глубины восстановления на-

дежности найдем численным методом: $\alpha_n \approx 0,567$. Зависимость α_r от x представлена на рис. 4 (кривая 2). Из сравнения кривых 2 и 3 видно, что с уменьшением коэффициента вариации граничные значения глубины восстановления надежности увеличиваются. Это означает, что для аппаратуры, у которой процессы старения и износа наиболее выражены, расширяется диапазон целесообразности проведения ремонта.

Заключение

Для определения средней интенсивности отказов и средней наработки на отказ аппаратуры ЖАТ целесообразно использовать предложенные выражения, учитывающие глубину восстановления надежности при проведении ремонта.

Значение средней интенсивности отказов с уменьшением периодичности и количества замен на отремонтированную аппаратуру от начала эксплуатации до замены на новую снижается, а с уменьшением глубины восстановления надежности аппаратуры возрастает.

Варьируя глубину восстановления надежности или периодичность и количество замен на отремонтированную аппаратуру от начала эксплуатации до замены на новую аппаратуру, можно обеспечить заданное значение средней интенсивности отказов аппаратуры.

Наработка на отказ аппаратуры существенно зависит от глубины восстановления надежности при проведении ее ремонта. Существуют граничные значения периодичности замен и глубины восстановления надежности, при которых ремонт нецелесообразен, так как средняя наработка на отказ аппаратуры в этих случаях становится ниже, чем при отсутствии такого ремонта.

Существуют предельные значения глубины восстановления надежности, при которых проведение ремонта с любой периодичностью снижает среднюю наработку на отказ аппаратуры и такой ремонт нецелесообразен.

Из результатов исследований можно сделать вывод о том, что для аппаратуры, у которой процессы старения и износа наиболее выражены, расширяется диапазон целесообразности проведения ремонта.

Результаты исследования показывают, что в условиях эксплуатации за счет изменения периодичности предупредительных замен и глубины восстановления надежности можно обеспечить требуемое значение средней наработки на отказ аппаратуры ЖАТ.

Библиографический список

1. Горелик А. В. Анализ показателей надежности функционирования систем железнодорожной автоматики и телемеханики с учетом экономических критериев

- ев / А. В. Горелик, П. А. Неваров // Автоматика на транспорте. – 2015. – Т. 1. – № 3. – С. 271–281.
2. Шаманов В. И. Обобщенная математическая модель процесса эксплуатации систем автоматики и телемеханики / В. И. Шаманов // Автоматика на транспорте. – 2016. – Т. 2. – № 2. – С. 163–179.
 3. Шаманов В. И. Методы оптимизации технического обслуживания систем автоматики / В. И. Шаманов // Автоматика на транспорте. – 2016. – Т. 2. – № 4. – С. 481–496.
 4. Горелик А. В. Оценка качества технической эксплуатации систем железнодорожной автоматики и телемеханики / А. В. Горелик, Н. А. Тарадин, А. С. Веселова, Д. В. Солдатов // Автоматика на транспорте. – 2017. – Т. 3. – № 3. – С. 319–334.
 5. Володарский В. А. Стратегии, критерии и расчет периодичности замен аппаратуры автоматики и телемеханики / В. А. Володарский // Автоматика на транспорте. – 2017. – Т. 3. – № 2. – С. 165–177.
 6. Барлоу Р. Математическая теория надежности / Р. Барлоу, Ф. Прошан. – М. : Советское радио, 1969. – 488 с.
 7. Сапожников Вал. В. Надежность систем железнодорожной автоматики, телемеханики и связи / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, В. И. Шаманов. – М. : Маршрут, 2003. – 263 с.
 8. Барлоу Р. Статическая теория надежности и испытания на безотказность / Р. Барлоу, Ф. Прошан. – М. : Наука, 1984. – 328 с.
 9. Володарский В. А. О тригонометрических распределениях для описания отказов технических устройств / В. А. Володарский // Надежность. – 2016. – № 2. – С. 16–19.
 10. Эндрени Дж. Моделирование при расчетах надежности в электроэнергетических системах / Дж. Эндрени. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 435 с.

Vladislav A. Volodarskiy
«Propulsion system of trains» chair
Krasnoyarsk institute of railway transport

The reliability of railway automation and remote control equipment that has been repaired

The results of research of the dependence of the average failure rate and the average operating time of the railway automation and remote control repaired equipment for failure on the periodicity of precautionary substitutions and the depth of restoration of reliability, as well as on the coefficient of variation of distributions used to describe equipment failures are adduced. It is determined that the value of the average failure rate in the case of reduction in the periodicity and number of

replacements with repaired equipment before replacement with new equipment is reduced, and in the case of reduction in the depth of restoration of reliability of the equipment, it increases. It is possible to achieve a set value of average failure rate of the railway automation and remote control equipment by varying the depth of restoration of reliability or the periodicity and number of replacements with repaired equipment before replacement with new equipment.

The operating time of the equipment for failure essentially depends on the depth of restoration of reliability when it is being repaired. There are boundary values of the periodicity of precautionary changes and the depth of restoration of reliability for which repair is inexpedient, because in these cases the operating time of the equipment for failure becomes lower than in the absence of such repairs. There are limit values of the depth of restoration of reliability for which repairs with any periodicity reduces operating time of the equipment for failure, and the carrying out of such repairs is inexpedient. Research results follow that the range of expediency of repairs is expanding for the equipment in which the aging and wear processes are expressed more clearly. The obtained results indicated that it's possible in operating conditions to achieve the required value of operating time of the equipment for failure by changing the periodicity of precautionary changes and the depth of restoration of reliability.

repair; replacement; periodicity; reliability; the depth of restoration; failure rate; operating time of the equipment for failure

References

1. Gorelik A. V., Nevarov P. A. (2015). Analysis of reliability performances of railway automation and remote control systems, considering economical criteria [Analiz pokazatelej nadezhnosti unkcionirovaniya sistem zheleznodorozhnoj avtomatiki i telemekhaniki s uchetom hkonomicheskikh kriteriev]. Automation on transport [Avtomatika na transporte], vol. 1, issue 3. – Pp. 271–281.
2. Shamanov V. I. (2016). Generalised mathematical body of the operational process of automation and remote control system [Obobshchennaya matematicheskaya model' processa ehkspluatacii sistem avtomatiki i telemekhaniki]. Automation on transport [Avtomatika na transporte], vol. 2, issue 2. – Pp. 163–179.
3. Shamanov V. I. (2016). Methods of optimization of technical maintenance of automation systems [Metody optimizacii tekhnicheskogo obsluzhivaniya sistem avtomatiki]. Automation on transport [Avtomatika na transporte], vol. 2, issue 4. – Pp. 481–496.
4. Gorelik A. V., Taradin N. A., Veselova A. S., Soldatov D. V. (2017). Quality assessment of railway automatics and telemechanics maintenance systems [Ocenka kachestva tekhnicheskoy ehkspluatacii sistem zheleznodorozhnoj avtomatiki i telemekhaniki]. Avtomatika na transporte, vol. 3, issue 3. – Pp. 319–334.

5. Volodarskij V.A. (2017). Strategies, criteria and calculation of replacement periodicity of automation and remote control equipment [Strategii, kriterii i raschet periodichnosti zamen apparatury avtomatiki i telemekhaniki]. Automation on transport [Avtomatika na transporte], vol. 3, issue 2. – Pp. 165–177.
6. Barlou R., Proshan F. (1969). Mathematical theory of reliability [Matematicheskaya teoriya nadezhnosti]. Moscow, Soviet radio [Sovetskoe radio]. – 488 p.
7. Sapozhnikov Val. V., Sapozhnikov Vl. V., Shamanov V.I. (2003). Reliability of railway automation remote control and communication [Nadezhnost' sistem zheleznodorozhnoj avtomatiki, telemekhaniki i svyazi]. Moscow, Route [Marshrut]. – 263 p.
8. Barlou R., Proshan F. (1984). Statistic theory of reliability and fail-safe test [Staticheskaya teoriya nadezhnosti i ispytaniya na bezotkaznost']. Moscow, Science [Nauka]. – 328 p.
9. Volodarskij V.A. (2016). About trigonometric distributions for the description of failures of technical devices [O trigonometricheskikh raspredeleniyah dlya opisaniya otkazov tekhnicheskikh ustrojstv]. Reliability [Nadezhnost'], issue 2. – Pp. 16–19.
10. Endreni Dzh. (1983). Modeling in reliability calculations in electric power systems [Modelirovanie pri raschetah nadezhnosti v ehlektroehnergeticheskikh sistemah]. Moscow, Energoatomizdat. – 435 p.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии Вл. В. Сапожниковым
Поступила в редакцию 07.12.2017, принята к публикации 28.12.2017*

ВОЛОДАРСКИЙ Владислав Афанасьевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, профессор кафедры «Системы обеспечения движения поездов» Красноярского института железнодорожного транспорта.
e-mail: volodarsky.vladislav@yandex.ru