

ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО ПЕРИОДА ПРОВЕДЕНИЯ РЕГЛАМЕНТНЫХ РАБОТ ДЛЯ ПРОФИЛАКТИЧЕСКОЙ СТРАТЕГИИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ СИСТЕМ ЖАТ

Илья КОРАГО

Ассистент в научной работе института железнодорожного транспорта Рижского технического университета, Латвия

Владимир ЛЮБИНСКИЙ

Профессор института железнодорожного транспорта Рижского технического университета, Латвия

Аннотация

В статье рассматриваются проблемы, связанные с проведением ультразвукового контроля осей колесных пар вагонов типа РУ1Ш, и предлагаются способы, повышающие достоверность контроля.

1. Введение

У любой системы в процессе эксплуатации под воздействием различных случайных факторов происходит разрегулировка её компонентов, компоненты стареют либо отказывают. Это ведёт к тому, что снижается производительность системы и качество выполнения функций.

Для повышения надёжности функционирования технических устройств автоматики и связи на Латвийской железной дороге широко применяется профилактическая стратегия их обслуживания.

Своевременные и целесообразные по глубине и объёму профилактические работы позволяют не только повышать технические характеристики эксплуатируемых систем и улучшать показатели их надёжности, но и сокращать эксплуатационные расходы.

Для эффективного использования рабочего персонала и хорошей организации труда, а также для достижения запланированных показателей необходимо точно планировать период проведения регламентных работ.

2. Критерии уменьшения объёма работ по обслуживанию систем

При профилактической стратегии обслуживания технических устройств периодичность каждой регламентной работы для однотипных устройств строго регламентирована независимо от местных условий.

Процесс технического обслуживания при профилактической стратегии состоит из ряда работ: регламентные работы (РР), дополнительные работы (ДР), работы по восстановлению устройств после отказов (ВР) и комплексные проверки состояния устройств (КП).

Объём работы при такой стратегии по техническому обслуживанию $Q_i(t)$ на определённом объекте i за время t определяется количеством и трудоёмкостью определённых операций, их периодичностью и выражается формулой (1) [1]:

$$Q_i(t) = \sum_{j=1}^k \frac{\tau_{pj}t}{t_{pj}} + \sum_{c=1}^v \tau_{ДС} + \tau_{ср.в.і} m_i + \tau_{КПі} n_i . \quad (1)$$

В формуле (1) τ_{pj} – нормированное время выполнения одной регламентной работы РР; k – число выполняемых РР; t_{pj} – периодичность j -й РР; $\tau_{ДС}$ – нормированное время выполнения одной c -ой ДР по плану повышения надёжности, в котором v работ; $\tau_{ср.в.і}$ – средние затраты труда на восстановление i -го объекта после отказа; m_i – среднее количество отказов за период t ; $\tau_{КПі}$ – затраты труда на комплексную проверку устройств на объекте i ; n_i – количество КП за время t .

Для повышения производительности труда величина $Q(t)$ должна быть минимизирована. Из анализа затрат труда персонала на процесс технического обслуживания известно, что на выполнение РР затрачивается около 80 % всего рабочего времени [1]. Для сокращения объёма РР, как видно из формулы (1), существуют три способа: уменьшать глубину профилактики, т. е. набор регламентных работ j , увеличивать периодичности регламентных работ t_{pj} ; уменьшать трудоёмкость отдельных операций τ_{pj} за счёт улучшения технологии выполнения работ.

3. Функционирование системы при плановой профилактике

Для предупреждения, обнаружения и устранения отказов в системе предусматривается проведение плановых профилактик, во время которых производят и аварийный ремонт, если система к этому моменту отказала. Средняя длительность профилактики и аварийного ремонта соответственно равна $T_{П}$ и T_a .

Обычно предполагается, что проведение профилактики или ремонта полностью обновляет объект, по отношению к которому они применяются.

В начальный момент назначается проведение плановых восстановительных работ через определенное время. Если к назначенному моменту система не отказала, проводится плановая профилактика. Если же к назначенному моменту система отказала, то вместо профилактики проводится аварийный ремонт. От момента появления отказа до начала планового аварийно-профилактического ремонта система простаивает в неработоспособном состоянии. После окончания восстановительных работ планируется новый момент для проведения плановых восстановительных работ на следующем периоде эксплуатации системы, и весь процесс обслуживания повторяется.

4. Показатели качества функционирования системы

Выбрав соответствующим образом период проведения плановой профилактики, можно добиться максимально возможных значений выбранных показателей качества функционирования системы. В качестве основных показателей качества функционирования системы берутся два основных показателя надёжности: коэффициент готовности K_g и коэффициент оперативной готовности $R(t)$, а также два экономических показателя: средняя удельная прибыль от системы за единицу времени C и средние суммарные издержки, отнесённые к единице времени работы C_s .

5. Оптимальный период τ проведения регламентных работ для максимизации K_g

Корень уравнения (2) τ_0 является оптимальным периодом профилактики [1].

$$\frac{T_{II}}{T_a - T_{II}} = -F(\tau) + \lambda(\tau) \int_0^{\tau} P(x) dx + \frac{\int_0^{\tau} x f(x) dx}{(T_a - T_{II})P(\tau)}. \quad (2)$$

В формуле (2) T_{II} – средняя длительность плановой профилактики; T_a – средняя длительность аварийного ремонта; $F(\tau)$ – функция распределения времени работы системы до отказа; $\lambda(\tau)$ – интенсивность отказов системы;

$P(x)$ – функция времени безотказной работы системы; $f(x)$ – функция плотности времени работы системы до отказа.

Подставляя найденный из уравнения (2) корень τ_0 в выражение (3), можно найти значение K_g при оптимальном периоде профилактики [2].

$$K_g(\tau_0) = \frac{P(\tau_0)}{1 + (T_a - T_{II})f(\tau_0)}. \quad (3)$$

6. Оптимальный период τ проведения регламентных работ для максимизации $R(t)$

Корень уравнения (4) τ_0 является оптимальным периодом профилактики.

$$\frac{T_{II}}{T_a - T_{II}} = -F(\tau) + \lambda(\tau) * \frac{P(\tau)}{P(\tau + t_0)} * \int_0^{\tau} P(x + t_0) dx + \frac{\int_0^{\tau} x f(x + t_0) dx}{(T_a - T_{II})P(\tau + t_0)}. \quad (4)$$

В формуле (4) t_0 – оперативное время работы системы, необходимое для выполнения задачи.

Подставляя найденный из уравнения (4) корень τ_0 в выражение (5), можно найти значение $R(t)$ при оптимальном периоде профилактики [1].

$$R(\tau_0) = \frac{P(\tau_0 + t_0)}{1 + (T_a - T_{II})f(\tau_0)}. \quad (5)$$

7. Оптимальный период τ проведения регламентных работ для максимизации C .

Корень уравнения (6) τ_0 является оптимальным периодом профилактики [1].

$$\frac{c_0 + c_{II}T_{II}}{(c_0 + c_c)(T_a - T_{II})} = -F(\tau) + \lambda(\tau) \int_0^{\tau} P(x)dx + \frac{\int_0^{\tau} xf(x)dx}{(T_a - T_{II})P(\tau)} + \frac{(c_c - c_{II})T_a F(\tau)}{(c_0 + c_c)(T_a - T_{II})P(\tau)} + \frac{T_a T_{II}(c_a - c_{II}) + \tau T_a(c_a - c_c) + T_{II}(c_c - c_{II})}{(c_0 + c_c)(T_a - T_{II})(c_0 + c_c)(T_a - T_{II})}. \quad (6)$$

В формуле (6) c_0 – прибыль, получаемая за единицу времени безотказной работы системы; c_{II} – потери за единицу времени при проведении плановой профилактики; c_c – потери за единицу времени при наличии в системе скрытого отказа; c_a – потери за единицу времени при проведении аварийного ремонта.

Подставляя найденный из уравнения (6) корень τ_0 в выражение (7), можно найти значение C при оптимальном периоде профилактики [1].

$$C(\tau_0) = \frac{c_0 P(\tau_0) - c_c F(\tau_0) - (c_a T_a - c_{II} T_{II}) f(\tau_0)}{1 + (T_a - T_{II}) f(\tau_0)}. \quad (7)$$

8. Оптимальный период τ проведения регламентных работ для минимизации C_s

Корень уравнения (8) τ_0 является оптимальным периодом профилактики [1].

$$\frac{c_{II} T_{II}}{(c_a T_a - c_{II} T_{II})} = -F(\tau) + \lambda(\tau) \int_0^{\tau} P(x)dx + \frac{c_c \int_0^{\tau} xf(x)dx}{(c_a T_a - c_{II} T_{II})P(\tau)}. \quad (8)$$

Подставляя найденный из уравнения (8) корень τ_0 в выражение (9), можно найти значение C_s при оптимальном периоде профилактики.

$$C_s(\tau_0) = c_c \frac{F(\tau_0)}{P(\tau_0)} + (c_0 T_a - c_{II} T_{II}) \lambda(\tau_0). \quad (9)$$

9. Пример

Корень τ_0 удобно находить, используя расчётный блок MathCAD Given-Find или метод Ньютона-Рафсона.

Для технической системы с параметрами $T_{II}=20$; $T_a=30$; $F(\tau)=1-e^{-\lambda\tau}$; $\lambda=0.01$; $P(x)=e^{-\lambda x}$; $f(x)=\lambda e^{-\lambda x}$; $t_0=10$; $c_0=3$; $c_{II}=1$; $c_c=2$; $c_a=2$ были получены показатели качества функционирования системы и соответствующие им τ_0 , а данные отображены в таблице 1.

Таблица 1. Показатели качества и соответствующие им τ_0

| Показатель | Значение показателя | τ_0 |
|------------|---------------------|----------|
| K_g | 0.534 | 57.225 |
| $R(t)$ | 0.483 | 57.225 |
| C | 1.079 | 24.967 |
| C_s | 1.432 | 41.622 |

10. Выводы

Разработана методика расчёта оптимальных периодов проведения технического обслуживания в среде MatchCAD для статистико-профилактической стратегии обслуживания системы.

Значения оптимального периода проведения технического обслуживания зависят от выбранного критерия.

Для заданных значений параметров значение оптимального периода проведения технического обслуживания может меняться по различным критериям в несколько раз. Так, по критерию K_g $\tau_0 = 57$ часов, а по критерию C $\tau_0 = 25$ часов.

При окончательном выборе значения τ_0 необходимо учитывать цели, которые преследует предприятие (экономические, надёжность перевозок и др.), использующее конкретное устройство.

Литература

1. Козлов, Б. А.; Ушаков, И. А. 1975. *Справочник по расчёту надёжности*. Москва: Советское радио. 472 с.
2. Брейдо, А. И.; Анисимов, Н. К. 1989. *Организация, планирование и управление в хозяйстве сигнализации и связи*. Москва: Транспорт. 247 с.