

ВЛИЯНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕСУРСА ОБЪЕКТА НА ВЫБОР СТРАТЕГИИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

к.т.н. А.Д. Ельчанинов, В.В. Ковкин, В.А. Куцак
(представил д.т.н., проф. Ф.М. Андреев)

Рассматривается вопрос о влиянии срока службы или технического ресурса объекта на выбор стратегии ТО, что является особенно актуальным для объектов с достаточно продолжительными циклами ТО (относительно продолжительности эксплуатации).

В большинстве методик обоснования выбора стратегии технического обслуживания (ТО) предполагается эксплуатация на неограниченном интервале времени. Между тем, реальные объекты всегда эксплуатируются в течение ограниченного интервала времени, определяемого назначенным сроком службы или техническим ресурсом.

Рассмотрим объект с известной функцией распределения наработки до отказа $F(t)$, который предполагается эксплуатировать в течение интервала времени $(0, \theta)$. Будем считать, что объект обеспечен системой контроля работоспособности, которая мгновенно и абсолютно достоверно сигнализирует о возникновении отказа, после чего начинаются аварийно-восстановительные работы (АВР) продолжительностью τ_a . Если в течение времени T с момента последнего включения объекта в работу сигнала об отказе не поступало, назначается ТО объекта длительностью τ_o . Считается, что в результате АВР и ТО ресурс объекта восстанавливается полностью.

Предположим, что объект в момент ξ после очередного восстановления включился в работу. Оставшийся срок службы предположительно $\gamma = \theta - \xi$. Задача состоит в том, чтобы в каждый момент включения в работу объекта задать интервал времени до ТО - $T(\gamma)$ таким образом, чтобы максимизировать суммарную наработку объекта в течение интервала $(0, \theta)$. Разобьем интервал $(0, \theta)$ на N участков величиной $\Delta = \theta/N$. Будем считать, что отказы и назначение ТО могут происходить лишь в дискретные моменты времени $i\Delta$, $i = 1, \dots, N$. Продолжительности аварийного восстановления и ТО также будем считать кратными Δ : $\tau_a = m_a \Delta$, $\tau_o = m_o \Delta$.

Пусть в момент времени $\theta - m\Delta$ произошло очередное восстановление объекта и было принято решение: следующее ТО проводить через k шагов - в момент $\theta - (m+k)\Delta$. Предположим, что существует оптимальное значение $k = k^*$, при котором значение математического ожидания времени использования объекта по назначению $V(m, k)$ на интервале $(\theta - m\Delta, \theta)$ будет максимальным:

$$V^*(m) = V(m, k^*) = \max_{k \in 1, m} \{V(m, k)\}. \quad (1)$$

На временном интервале $[\theta - m\Delta, \theta - (m+k)\Delta]$ произойдет одно из двух событий: либо в некоторый случайный момент времени $\theta - (m+v)\Delta \in [\theta - m\Delta, \theta - (m+k)\Delta]$ произойдет отказ объекта и начнутся АВР, либо в момент времени $\theta - (m+k)\Delta$ начнется ТО. В первом случае суммарное время использования объекта по назначению составит $v + V^*(m - v - m_a)$, во втором - $k + V^*(m - k - m_o)$.

Рекуррентное выражение для математического ожидания суммарного времени использования объекта по назначению в течение интервала $(\theta - m\Delta, \theta)$ будет иметь следующий вид:

$$V(m, k) = P(v < k) M \left\{ v + V^*(m - v - m_a) \right\} + P(v \geq k) \left(k + V^*(m - k - m_o) \right). \quad (2)$$

С учетом функции распределения наработки до отказа $F(t)$ формула (2) может быть записана:

$$V(m, k) = F(k\Delta) \sum_{v=1}^k \left(v + V^*(m - v - m_a) \right) \frac{[F(v\Delta) - F((v-1)\Delta)]}{F(k\Delta)} + [1 - F(k\Delta)] \left(k + V^*(m - k - m_o) \right). \quad (3)$$

Путем перебора определяется k , доставляющее максимум выражению (3), которое и является для выбранного критерия оптимальным сроком использования по назначению до следующего ТО при условии, что до окончания срока эксплуатации осталось m единиц времени.

Формула (3) позволяет пошагово определять оптимальное по выбранному критерию правило обслуживания $k(m)$ ($m = 1, \dots, N$) с учетом срока до окончания эксплуатации. Особенностью метода является быстрый рост вычислительной сложности с увеличением числа интерва-

лов $N = \theta / \Delta$, что требует использования ПЭВМ при проведении исследований.

На рис. 1, 2, 3 показано решение задачи для случая, когда наработка до отказа распределена по закону Эрланга с функцией распределения вида

$$F(t) = 1 - \exp \left[- \sum_{i=0}^{p-1} \frac{(\lambda t)^i}{i!} \right], \quad (4)$$

при значениях параметров $p = 30$ и $\lambda = 3$ (что соответствует средней наработке до отказа $T_n = 10$). В качестве остальных исходных данных были приняты значения: $\tau_a = 2$, $\tau_o = 1$, $\theta = 100$, $\theta = 100$, $N = 500$. На рис. 1 показана зависимость коэффициента технического использования (КТИ) от периода технического обслуживания T_o , рассчитанная по известной формуле [1], которая справедлива для бесконечного интервала эксплуатации:

$$K_{\text{ти}}(T_o) = \frac{\int_0^{T_o} (1 - F(x)) dx}{\int_0^{T_o} (1 - F(x)) dx + (1 - F(T_o))\tau_o + F(T_o)\tau_a}. \quad (5)$$

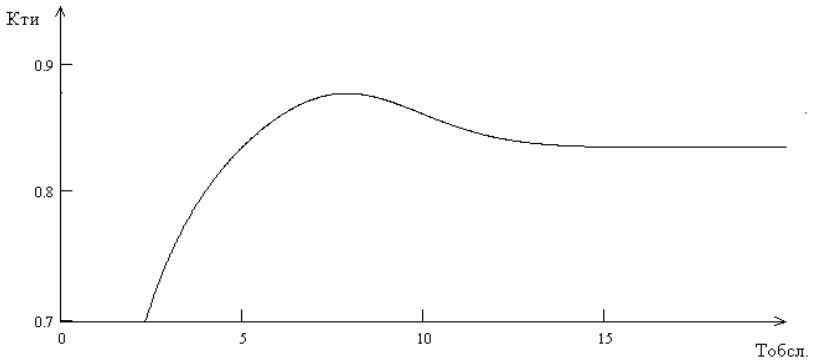


Рис. 1. Зависимость КТИ от периода ТО на неограниченном интервале эксплуатации

Из графика определим, что при использовании допущения о бесконечном интервале эксплуатации максимально достижимое значение

КТИ $K_{III}^{\max} \approx 0,87$ при оптимальном значении периода обслуживания $T_0^{\text{opt}} \approx 8$.

На рис.2 сплошной линией показана зависимость КТИ от срока службы при использовании динамической стратегии обслуживания, когда срок следующего ТО определяется с учетом оставшегося срока службы, а пунктирной - при статической стратегии обслуживания с постоянным периодом ТО, равным оптимальному значению для неограниченного интервала эксплуатации. Как и следовало ожидать, при использовании второй стратегии значение КТИ в среднем оказалось ниже. На рис.3 приведена зависимость наработки до ТО от предполагаемого срока эксплуатации.

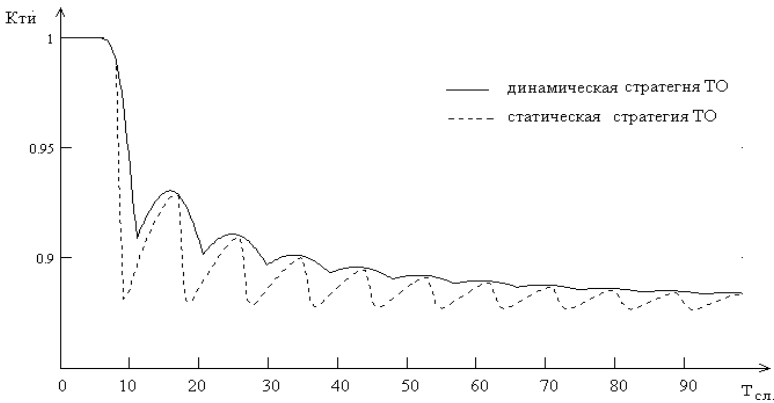


Рис.2. Зависимость КТИ обслуживаемого объекта от его срока службы

Из анализа приведенных зависимостей видно, что при небольших сроках эксплуатации ($T_n \geq T_{\text{сл.}}$) значение КТИ близко к единице, а ТО целесообразно не проводить ($T_{\text{обсл.}} = T_{\text{сл.}}$), так как отказы объекта на этом интервале маловероятны. Вероятность возникновения отказа объекта с течением времени возрастает и, начиная с некоторого момента времени, при принятом соотношении затрат на АВР и ТО проведение ТО становится оправданным ($T_{\text{обсл.}} < T_{\text{сл.}}$) (поскольку проведение ТО сопряжено с затратами времени, значение КТИ значительно уменьшается). Интенсивность отказов объекта после проведения ТО локально снижается, поэтому если продолжать эксплуатацию, то КТИ некоторое время будет увеличиваться. При динамической стратегии обслуживания наработка до следующего обслуживания также будет увеличиваться,

причем линейно. Заметим, что локальным максимумам КТИ соответствует значение наработки до ТО, совпадающее с оптимальным периодом обслуживания для бесконечного интервала эксплуатации. В приведенных на рисунках 2 и 3 зависимостях наблюдаемые изменения являются периодическими, период соответствует средней наработке до отказа.

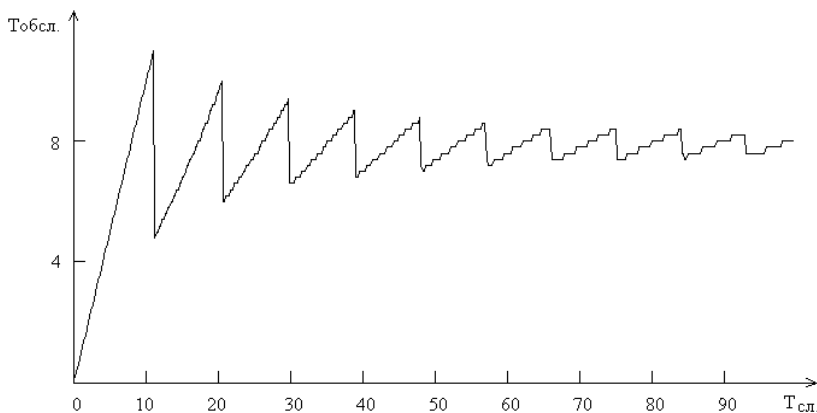


Рис.3. Зависимость наработки до ТО от предполагаемого срока службы объекта

С увеличением срока службы значение КТИ и наработка до ТО стремятся к постоянным значениям, которые совпадают с рассчитанными по формуле (5) оптимальными значениями для неограниченного интервала эксплуатации, что позволяет судить об адекватности разработанной модели.

Из приведенного примера видно, что в определенных условиях учет предполагаемого срока эксплуатации при выборе стратегии ТО может существенно повысить эффективность функционирования технических объектов. В этом случае мы имеем дело с динамической или адаптивной стратегией ТО, параметры которой корректируются с учетом изменяющихся факторов эксплуатации (в нашем случае - это предполагаемый срок службы).

Изложенная методика позволяет разрабатывать стратегию ТО с учетом назначенного срока службы, а также определять границы, в которых учет этого обстоятельства целесообразен.

ЛИТЕРАТУРА

1. Надежность и эффективность в технике. Т.8 : Эксплуатация и ремонт / Под ред. В.И. Кузнецова и Е.Ю. Барзиловича. – М.: Машино-

строение, 1990.– 320 с.