

КОМПЛЕКСНЫЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

д.т.н., проф. В.Н. Чинков, С.В. Герасимов, М.Ю. Яковлев

Предлагается комплексный экономический показатель эффективности метрологического обслуживания сложных технических объектов контрольно - проверочными комплексами и методика его оценки.

При решении оптимизационных задач метрологического обслуживания сложных технических объектов (СТО) контрольно - проверочными комплексами (КПК) прежде всего необходимо обосновать показатель их эффективности.

Показатели эффективности используются в качестве меры соответствия реального результата операции требуемому. В настоящее время при решении задач оценки эффективности в области метрологического обслуживания используются различные показатели эффективности [1-3]. Однако, они не учитывают материальный эффект от выполнения той или иной операции, а учитывают только затраты на эксплуатацию СТО.

По мнению авторов, любые материальные затраты на эксплуатацию СТО, даже самые большие, должны быть компенсированы материальным эффектом от применения СТО по назначению. Поэтому в комплексном экономическом показателе эффективности метрологического обслуживания СТО определяющее значение отводится функции экономического эффекта (пользы) от применения их по назначению. Математически показатель эффективности представим обобщенным функционалом

$$W_{\text{МОб}} = F[\tilde{C}(\chi), \tilde{C}_{\Pi}(\chi)], \quad (1)$$

где $\tilde{C}(\chi)$ - удельная функция стоимости, которая представляет зависимость затрат на создание СТО, его функционирование и поддержание на требуемом уровне работоспособности от характеристик процесса его эксплуатации, выраженная в долях стоимости СТО (с учетом метрологического обслуживания); $\tilde{C}_{\Pi}(\chi)$ - удельная функция экономического эффекта, которая учитывает экономический выигрыш от применения СТО по назначению, выраженная в долях стоимости СТО; χ - вектор параметров системы эксплуатации СТО (включая параметры метрологического обслуживания, например, периодичность поверки, условные веро-

ятности ошибок 1-го и 2-го рода, погрешность измерения контролируемой при поверке той или иной величины).

Применение СТО по назначению приносит определенный экономический эффект, который должен компенсировать все затраты, связанные с созданием объекта, его функционированием и поддержанием на требуемом уровне работоспособности. При решении оптимизационных задач метрологического обслуживания сложных технических объектов КПК необходимо учитывать, что отношение удельной функции стоимости СТО к удельной функции экономического эффекта от их применения не превышает единицы и формула (1) в этом случае принимает вид

$$W_{\text{МОб}} = \frac{\tilde{C}(\chi)}{\tilde{C}_{\Pi}(\chi)}. \quad (2)$$

Учитывая вышесказанное, представим удельную функцию $\tilde{C}_{\Pi}(\chi)$:

$$\tilde{C}_{\Pi}(\chi) = A(\tilde{C}(\chi) + \tilde{C}_{+}) + 1, \quad (3)$$

где \tilde{C}_{+} - величина, определяющая экономический эффект (пользу), как результат применения СТО по назначению; A - численный коэффициент, учитывающий выполнение СТО поставленной перед ним задачи или задач.

Значение коэффициента A определяется одним из двух способов:

1) первый способ (если известен результат применения СТО по назначению, например, по результатам проведения эксперимента) - по двухальтернативной шкале:

$$A = \begin{cases} 0, & \text{если СТО не выполнил поставленную перед ним задачу;} \\ 1, & \text{если СТО выполнил поставленную перед ним задачу;} \end{cases}$$

2) второй способ (если проводится теоретическое моделирование поведения СТО при применении его по назначению) – рассчитывается теоретическое значение предполагаемого результата применения СТО по назначению (в диапазоне от 0 до 1) по формуле

$$A = P_1 K_{\text{ГП}} K_{\text{ВУ}},$$

где P_1 - вероятность пребывания СТО в своем основном состоянии (применение по назначению); $K_{\text{ГП}}$, $K_{\text{ВУ}}$ – численные коэффициенты, определяющие, соответственно, уровень квалификации обслуживающего персонала и уровень влияния внешних факторов на применение по назначению.

Удельная функция стоимости $\tilde{C}(\chi)$ представляет зависимость затрат на создание СТО, его функционирование и поддержание на требуе-

мом уровне работоспособности от параметров процесса его эксплуатации, так как она учитывает расходы на пребывание СТО в том или ином состоянии в процессе эксплуатации и расходы, связанные с его переходами из состояния в состояние и параметры процесса эксплуатации объекта (вектор χ).

Для описания расходов на содержание технического объекта широко используется комплексный экономический показатель в виде удельных затрат [3]:

$$C = [C_1 + C_2 E_H],$$

где C_1 - себестоимость единицы продукции; C_2 - удельные капитальные затраты; $E_H = 0,12 - 0,15$ - нормативный коэффициент.

Для решаемой задачи C_1 - эксплуатационные расходы (на метрологическое обслуживание, ремонт, содержание обслуживающего персонала и др.); C_2 - стоимость приобретения СТО.

Выражая затраты в долях стоимости СТО, т.е. в форме приведенных затрат, искомую функцию стоимости запишем в виде

$$\tilde{C}(\chi) = \left[\frac{C_1(\chi)}{C_2} + E_H \right]. \quad (4)$$

Из анализа опыта эксплуатации предлагается ввести в функцию стоимости (4) коэффициент T/T_0 , где T - срок нахождения СТО в эксплуатации, T_0 - срок службы СТО до списания, который учитывает степень износа СТО. Тогда искомая функция стоимости равна

$$\tilde{C}(\chi) = \left[\frac{C_1(\chi)}{C_2} + E_H \right] \cdot \frac{T}{T_0}. \quad (5)$$

Выражение (5) более полно описывает годовые затраты на эксплуатацию, так как с каждым годом из-за износа и старения элементов сложных технических объектов ежегодные затраты на их метрологическое обслуживание и, значит, на эксплуатацию увеличиваются.

Годовые расходы на эксплуатацию $C_1(\chi)$ связаны с моделью его эксплуатации. Поэтому для определения комплексного экономического показателя эффективности метрологического обслуживания необходимо построить граф состояний, в которых может находиться рассматриваемый СТО в процессе эксплуатации (например, состояние применения СТО по назначению, ремонт СТО, проверка функционирования, диагностика и т.д.).

Из одних состояний в другие СТО может переходить с интенсивностями λ_{ij} перехода из i - го в j - е состояние, $i = \overline{1, N}$, $j = \overline{1, N}$.

Затраты на эксплуатацию включают суммарные затраты на его пре-

бывание в указанных состояниях и на переходы между ними и описываются выражением [3]:

$$C_1(\chi) = \sum_{i=1}^N C_i P_i(\chi) + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N C_{ij} P_{ij}(\chi) \lambda_{ij}(\chi), \quad (6)$$

где C_i, C_{ij} - затраты средств в единицу времени на эксплуатацию соответственно при пребывании СТО в i - м состоянии, $i = \overline{1, N}$, и при переходе из i - го состояния в j - е, $j = \overline{1, N}$; N - число состояний в рассматриваемой модели; $P_i(\chi)$ - вероятность пребывания СТО в i - м состоянии; $\lambda_{ij}(\chi)$ - интенсивность переходов СТО из i - го состояния в j - е. Параметры $P_i(\chi)$ и $\lambda_{ij}(\chi)$ жестко связаны с вектором параметров χ , поэтому полученная функция $C_1(\chi)$ (6) зависит от параметров процесса эксплуатации, в том числе и от параметров метрологического обслуживания.

Стоимость приобретения СТО C_2 обозначим через C_{Π} .

Выражая C_i и C_{ij} в долях стоимости СТО, т.е. $\tilde{C}_i = C_i/C_{\Pi}$ и $\tilde{C}_{ij} = C_{ij}/C_{\Pi}$, искомую функцию (4) с учетом (5), запишем как

$$\tilde{C}(\chi) = \left[\sum_{i=1}^N \tilde{C}_i P_i(\chi) + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \tilde{C}_{ij} P_{ij}(\chi) \lambda_{ij}(\chi) + E_H \right] \cdot \frac{T}{T_0}. \quad (7)$$

Исходя из предназначения СТО, и используя априорные данные, полученные из опыта или с помощью метода экспертных оценок, определяем величину эффекта \tilde{C}_+ - экономического результата применения СТО по назначению, а также значение коэффициента A .

Значение комплексного экономического показателя эффективности применения КПК при метрологическом обслуживании СТО $W_{\text{МОб}}$ находим по формуле

$$W_{\text{МОб}} = \frac{\left[\sum_{i=1}^N \tilde{C}_i P_i(\chi) + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \tilde{C}_{ij} P_{ij}(\chi) \lambda_{ij}(\chi) + E_H \right] \cdot \frac{T}{T_0}}{A \left(\left| \sum_{i=1}^N \tilde{C}_i P_i(\chi) + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \tilde{C}_{ij} P_{ij}(\chi) \lambda_{ij}(\chi) + E_H \right| \frac{T}{T_0} + \tilde{C}_+ \right) + 1}. \quad (8)$$

Выражение (8) устанавливает связь предложенного комплексного экономического показателя эффективности применения КПК при метрологическом обслуживании СТО $W_{\text{МОб}}$ с параметрами процесса эксплу-

атации СТО. Из выражения (8) видно, что при коэффициенте $A=0$ (СТО не выполнил поставленную задачу) показатель эффективности $W_{MO6} = \tilde{C}(\chi)$, т.е. процесс эксплуатации приведет к убытку, который составит стоимость затрат на его приобретение и эксплуатацию.

Для определения значения комплексного экономического показателя эффективности применения КПК при метрологическом обслуживании СТО W_{MO6} необходимо выполнить ряд операций в следующей последовательности.

1. Построить граф состояний СТО во время эксплуатации и указать интенсивности его переходов из состояния в состояние.

2. Используя граф состояний, записать систему дифференциальных уравнений (для марковской модели - систему дифференциальных уравнений Колмогорова [4]) и вычислить методом Гаусса или путем последовательного исключения переменных в установившемся режиме вероятности состояний $P_i(\chi)$. При числе состояний рассматриваемой модели более 6 целесообразно вычисления проводить с помощью прикладных программ ЭВМ [5].

3. На основании опыта эксплуатации аналогичных технических объектов определить параметры C_i, C_{ij} в выражении (6) и вычислить годовые затраты на эксплуатацию.

4. Подставив значение стоимости приобретения СТО C_{II} и нормативного коэффициента E_H в формулу (7), определить значение функции стоимости $\tilde{C}(\chi)$.

5. На основе методов экспертных оценок, сведений из технической и эксплуатационной документации задать значения функции \tilde{C}_+ и коэффициента A и определить удельную функцию экономического эффекта $\tilde{C}_{II}(\chi)$, которая учитывает экономический выигрыш от применения СТО по назначению (3).

6. По формуле (8) вычислить значение показателя эффективности применения КПК при метрологическом обслуживании W_{MO6} .

При полученном значении для W_{MO6} порядка 1 целесообразно рассмотреть состояния эксплуатации и интенсивности переходов из одного состояния в другое с целью уменьшения затрат, связанных с эксплуатацией СТО, или найти для него другое применение, которое будет приносить больший доход.

Как показано выше, коэффициент A напрямую зависит от вероятности нахождения СТО в своем основном состоянии – применение по назначению - P_1 . Так как P_1 зависит от параметров системы эксплуатации, то значение коэффициента A можно регулировать изменением параметров системы эксплуатации СТО.

При решении оптимизационных задач метрологического обслуживания СТО КПК необходимо найти такой вектор χ параметров системы эксплуатации, который будет обеспечивать выполнение поставленных задач, а комплексный экономический показатель – $W_{\text{МОБ}}$ стремится к нулю.

Таким образом, в качестве показателя эффективности применения КПК при метрологическом обслуживании СТО рекомендуется использовать комплексный экономический показатель, особенностью которого является то, что он учитывает не только затраты на разработку и эксплуатацию СТО, но и экономический эффект от применения по назначению. Его оценка может быть выполнена по предложенной выше методике.

ЛИТЕРАТУРА

1. Оценка эффективности и параметрический синтез метрологического обслуживания радиоаппаратуры: Научно-методическое пособие / Под ред. Е.И. Сычева – М.: МО СССР, 1984. – 386 с.
2. Крещук В.В. Метрологическое обслуживание сложных изделий. – М.: Изд - во стандартов, 1989. – 200 с.
3. Крещук В.В., Кривоцук В.И. Функция стоимости эксплуатации средств измерений в задачах оптимизации метрологического обслуживания технических объектов // Измерительная техника. – 1982. – №3. – С. 35 - 38.
4. Вентцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. – М.: Наука, 1988. – 276 с.
5. Шуп Т. Решение инженерных задач на ЭВМ: Практическое руководство: Пер. с англ. – М.: Наука, 1982. – 326 с.

Поступила в редколлегию 06.08.2001
