

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ СЛОЖНЫХ ОБРАЗЦОВ ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ

д.т.н., проф. В.Н. Чинков, С.В. Герасимов

*В статье предлагается методика оценки эффективности проведения метрологического обслуживания сложных образцов вооружения и военной техники в процессе эксплуатации. Сделаны рекомендации по использованию этой методики.*

**Постановка проблемы.** Проведение метрологического обслуживания (МО) сложного образца вооружения и военной техники (СОВВТ) имеет целью дать обоснованный ответ на вопрос об его исправности и, следовательно, о пригодности к выполнению стоящих перед ним задач. Однако не для всех СОВВТ система метрологического обслуживания (СМО) построена оптимальным образом, в результате чего она может быть экономически невыгодна, если затраты на проведение МО с ее помощью превышают экономический эффект от применения СОВВТ по назначению. Поэтому необходимо получить оценки, позволяющие проводить анализ существующих СОВВТ и синтезировать оптимальную СМО СОВВТ по определенным комплексным показателям эффективности, в частности по критерию стоимости [1].

**Анализ литературы.** В последних исследованиях решались различные задачи оценки эффективности сложных систем, пригодные и для СМО [2 – 5]. В качестве их недостатков следует отметить то, что они не учитывают материальный эффект (пользу) от проведения МО, а учитывают только затраты на эксплуатацию СОВВТ, не рассматривают СОВВТ в комплексе со средствами измерительной техники (СИТ), применяемыми при МО и не учитывают метрологическую надежность СИТ. Поэтому указанные оценки эффективности не позволяют с высокой достоверностью говорить о качестве проведения МО. В [6] исследуется комплексный экономический показатель эффективности проведения МО СОВВТ, по которому можно рассчитать оптимальную периодичность проведения обслуживания. Но этот показатель не позволяет определить оптимальный перечень измеряемых и контролируемых параметров

СОВВТ, а также оптимальный набор СИТ для их контроля. Поэтому необходимы более совершенные показатели оценки эффективности проведения МО СОВВТ.

**Цель статьи** заключается в разработке методики оценки эффективности проведения МО СОВВТ, которая базируется на анализе системы “СОВВТ – СИТ”, учитывает метрологическую надежность СИТ и материальный эффект от применения СОВВТ по назначению.

Основная задача проведения МО СОВВТ – повышение достоверности того, что СОВВТ выполнит поставленную боевую задачу, т.е. вероятность его исправного состояния после проведения МО должна быть больше, чем до него. Построение математической модели эксплуатации СОВВТ позволяет определить вероятность его нахождения в каждом из возможных состояний, например, в исправном состоянии эксплуатации или в состоянии эксплуатации со скрытым отказом [4]. Тогда без проведения МО вероятность того, что СОВВТ перед применением по назначению будет исправен, соответствует вероятности  $P_{и}$  нахождения образца в исправном состоянии модели эксплуатации.

Вероятность исправного состояния СОВВТ после проведения МО  $P_{и}^{MO}$  определим, используя математическую модель “СОВВТ – СИТ” [7]:

$$P_{и}^{MO} = P_{и}[K_{СИТ}P_{СИТ}P_{МО} + (1 - K_{СИТ}P_{СИТ}P_{МО})P_{В}] + (1 - P_{и})P_{В}, \quad (1)$$

где  $K_{СИТ}$  – нормировочный коэффициент, характеризующий метрологическую исправность СИТ, обычно  $K_{СИТ} = 0,6 \div 0,8$  [8];  $P_{СИТ}$  – вероятность исправного состояния СИТ;  $P_{МО}$  – вероятность исправного состояния СОВВТ при проведении его МО;  $P_{В}$  – вероятность восстановления неисправного СОВВТ (путем проведения регулировочных работ или ремонта).

С учетом выражения (1), введем показатель эффективности проведения МО СОВВТ  $K_{МО}$  в виде отношения

$$K_{МО} = \frac{P_{и}^{MO}}{P_{и}} = \frac{P_{и}[K_{СИТ}P_{СИТ}P_{МО} + (1 - K_{СИТ}P_{СИТ}P_{МО})P_{В}] + (1 - P_{и})P_{В}}{P_{и}} > 1. \quad (2)$$

Особенностью полученного выражения (2) является учет метрологической надежности СИТ, применяемых при МО СОВВТ.

Очевидно, если  $K_{МО} > 1$ , то проведение МО повышает достоверность исправного состояния СОВВТ и его параметры выбраны правильно. При  $K_{МО} < 1$  проведение МО снижает достоверность исправного состояния СОВВТ и увеличивает временные затраты на его проведение. Поэтому необходимо изменить требования к СМО СОВВТ, например, применить

более точные методы измерений или СИТ, оптимизировать периодичность проведения поверки СИТ для повышения его метрологической надежности, использовать более эффективные методы при проведении восстановления неисправных СОВВТ.

Отказ от проведения МО может привести к тому, что к выполнению поставленной задачи будет допущен неисправный СОВВТ, а следовательно, будет нанесен определенный материальный ущерб  $C^-$ . С другой стороны, отказ от проведения МО уменьшает стоимость эксплуатации СОВВТ на величину, которая определяется затратами  $C_{\text{МО}}$  на проведение его МО. Введем коэффициент экономической эффективности проведения МО  $K_3 = C_3^{\text{МО}} / C_3$ , где  $C_3^{\text{МО}}$ ,  $C_3$  – экономический эффект от применения СОВВТ по назначению при проведении МО и без его проведения соответственно.

Тогда показатель экономической эффективности проведения МО СОВВТ запишем как  $K_3 = C_3^{\text{МО}} / C_3 > 1$ , где при  $K_3 > 1$  экономический эффект от применения СОВВТ по назначению больше затрат на проведение МО и оно экономически целесообразно. Если  $K_3 < 1$ , то необходимо пересмотреть экономические требования к СМО, т.е. сократить стоимость проведения метрологических операций.

Рассчитаем значения функций экономического эффекта  $C_3^{\text{МО}}$ ,  $C_3$ .

Функцию экономического эффекта от применения СОВВТ по назначению  $C_{\text{эф}}$  представим в виде [6]:

$$C_{\text{эф}} = K_{\text{ВВТ}} C^+ - (1 - K_{\text{ВВТ}}) C^- - C_{\text{ВВТ}}, \quad (3)$$

где  $C^+$  – величина, определяющая экономический эффект (пользу), как результат применения СОВВТ по назначению;  $C_{\text{ВВТ}}$  – величина, определяющая расходы на эксплуатацию СОВВТ;  $K_{\text{ВВТ}}$  – численный коэффициент, который учитывает факт выполнения СОВВТ поставленной перед ним задачи и зависит от параметров эксплуатации СОВВТ.

Рассмотрим граничные условия для выражения (3). При  $K_{\text{ВВТ}} = 1$  оно принимает вид:  $C_{\text{эф}} = C^+ - C_{\text{ВВТ}}$ , т.е. при выполнении СОВВТ поставленной задачи функция экономического эффекта представляет материальный доход от его применения по назначению, исключая расходы на эксплуатацию СОВВТ. При  $K_{\text{ВВТ}} = 0$  формула (3) преобразуется к виду  $C_{\text{эф}} = -C^- - C_{\text{ВВТ}}$ , где знак “-” показывает, что при не-

выполнении СОВВТ поставленной задачи, ущерб составит величину материальных потерь, связанных с невыполнением образцом поставленной задачи, и затрат на его эксплуатацию.

Определим значение коэффициента  $K_{\text{ВВТ}}$  при проведении МО СОВВТ –  $K_{\text{ВВТ}}^{\text{МО}}$  и без его проведения –  $K_{\text{ВВТ}}$ , используя [6]:

$$K_{\text{СТК}}^{\text{МО}} = P_{\text{И}}^{\text{МО}} K_{\text{П}} K_{\text{Ф}} ; \quad (4)$$

$$K_{\text{ВВТ}} = P_{\text{И}} K_{\text{П}} K_{\text{Ф}} , \quad (5)$$

где  $K_{\text{П}}$ ,  $K_{\text{Ф}}$  – численные коэффициенты, определяющие соответственно уровень квалификации обслуживающего СОВВТ персонала и уровень влияния внешних факторов на применение СОВВТ по назначению (изменяются в диапазоне от 0 до 1 и определяются на основании опытных данных или методом экспертных оценок).

Затраты на эксплуатацию СОВВТ предлагается определять как суммарные затраты на его пребывание в состояниях модели эксплуатации и на переходы между ними и рассчитывать с помощью выражения [6]:

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

где  $C_i$ ,  $C_{ij}$  – денежные затраты на эксплуатацию СОВВТ соответственно при пребывании его в  $i$ -ом состоянии,  $i = \overline{1, N}$ , и при переходе из  $i$ -го состояния в  $j$ -е состояние,  $j = \overline{1, N}$ ;  $N$  – число состояний рассматриваемой модели эксплуатации СОВВТ;  $\chi$  – вектор параметров эксплуатации СОВВТ (например, периодичность проведения МО, наработка на отказ);  $P_i(\chi)$  – вероятность пребывания СОВВТ в  $i$ -ом состоянии;  $P_{ij}(\chi)$  – вероятность переходов СОВВТ из  $i$ -го состояния в  $j$ -е состояние.

Вероятности  $P_i(\chi)$ ,  $P_{ij}(\chi)$  жестко связаны с вектором параметров  $\chi$ , поэтому полученная функция  $C_{\text{ВВТ}}$  (6) зависит от параметров процесса эксплуатации СОВВТ, в том числе и от параметров метрологического обслуживания (например, чем меньше периодичность поверки объекта, тем больше затраты на его обслуживание и т.д.).

С учетом выражений (3 – 5) функции экономического эффекта  $C_3^{\text{МО}}$ ,  $C_3$  при проведении МО и без него запишем соответственно в виде:

$$C_3^{\text{МО}} = P_{\text{И}}^{\text{МО}} K_{\text{П}} K_{\text{Ф}} C^+ - (1 - P_{\text{И}}^{\text{МО}} K_{\text{П}} K_{\text{Ф}}) C^- - (C_{\text{ВВТ}} + C_{\text{МО}});$$

$$C_9 = K_{\text{ВВТ}} C^+ - (1 - K_{\text{ВВТ}}) C^- - C_{\text{ВВТ}} = P_{\text{и}} K_{\text{п}} K_{\text{ф}} C^+ - (1 - P_{\text{и}} K_{\text{п}} K_{\text{ф}}) C^- - C_{\text{ВВТ}}$$

Подставим эти соотношения в формулу (3), имеем

$$K_9 = \frac{P_{\text{и}}^{\text{МО}} K_{\text{п}} K_{\text{ф}} C^+ - (1 - P_{\text{и}}^{\text{МО}} K_{\text{п}} K_{\text{ф}}) C^- - (C_{\text{ВВТ}} + C_{\text{МО}})}{P_{\text{и}} K_{\text{п}} K_{\text{ф}} C^+ - (1 - P_{\text{и}} K_{\text{п}} K_{\text{ф}}) C^- - C_{\text{ВВТ}}}. \quad (7)$$

Упростив эту формулу и используя выражение (2), получим условие для синтеза оптимальной СМО СОВВТ в процессе его эксплуатации

$$\frac{C^+ + C^-}{C_{\text{МО}}} > \frac{1}{(P_{\text{и}}^{\text{МО}} - P_{\text{и}}) K_{\text{п}} K_{\text{ф}}}.$$

Так как вероятности  $P_{\text{и}}^{\text{МО}}$ ,  $P_{\text{и}}$  и значения коэффициентов  $K_{\text{п}}$ ,  $K_{\text{ф}}$  могут принимать значения в диапазоне  $[0,1]$ , то

$$\left( C^+ + C^- \right) / C_{\text{МО}} > 1. \quad (8)$$

Из неравенства (8) видно, что СМО СОВВТ построена правильно только тогда, когда экономический эффект от применения комплекса по назначению больше затрат на проведение МО. В этом случае проведение МО СОВВТ экономически целесообразно, в противном случае СМО СОВВТ построена неоптимально.

Используя полученные выше результаты, предложим методику оценки эффективности проведения МО СОВВТ в процессе его эксплуатации, которая состоит из следующих этапов:

- составление математической модели эксплуатации СОВВТ и определение вероятности нахождения комплекса в возможных состояниях;

- составление математической модели “СОВВТ – СИТ” и определение возможной вероятности выполнения СОВВТ поставленной задачи после проведения МО;

- определение показателя эффективности проведения МО и проверка выполнения условия (2):

- а) если условие (2) не выполняется, то необходимо, изменяя параметры СМО СОВВТ, добиться того, чтобы показатель эффективности был больше 1;

- б) если условие (2) выполняется, переходим к следующему этапу;

- расчет экономического коэффициента эффективности проведения МО по формуле (7) и проверка выполнения условия (8):

- а) если условие (8) выполняется, то выбранные экономические параметры СМО СОВВТ являются приемлемыми;

б) при невыполнении условия (8) необходимо, изменяя экономические параметры СМО СОВВТ (сокращая затраты на проведение МО), выбрать их такими, при которых выполняется условие (8).

**Выводы.** Полученные результаты позволяют анализировать существующие СМО СОВВТ, определять их недостатки и пути устранения, синтезировать оптимальную СМО СОВВТ. Предложенная методика оценки эффективности СМО может быть полезна при проведении метрологической экспертизы СОВВТ.

**Перспективы дальнейших исследований.** Дальнейшие исследования могут быть направлены на построение оптимальной СМО СОВВТ с учетом полученных коэффициентов эффективности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Чуев Ю.В., Спехов Г.П. *Технические задачи исследования операций*. – М.: Советское радио, 1971. – 344 с.
2. Барзилович Е.Ю. *Модели технического обслуживания сложных систем: Учебное пособие*. – М.: Высшая школа, 1982. – 231 с.
3. Маслов А.Я., Немудрук Л.Н., Гуца А.Г. *Оптимизация радиоэлектронной аппаратуры*. – М.: Радио и связь, 1982. – 200 с.
4. Крещук В.В. *Метрологическое обеспечение эксплуатации сложных изделий*. – М.: Из-во стандартов, 1989. – 200 с.
5. Зданович И.А. *Экономическая эффективность и оптимизация метрологического обеспечения промышленных предприятий*. – М.: Из-во стандартов, 1988. – 160 с.
6. Чинков В.Н., Герасимов С.В., Яковлев М.Ю. *Комплексный экономический показатель эффективности метрологического обслуживания сложных технических объектов // Системы обработки информации*. – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2001. – Вып. 5 (15). – С. 7 – 12.
7. Чинков В.Н., Герасимов С.В. *Разработка модели “Объект контроля – средство измерительной техники” с применением сетей Петри // 3-я Міжнародна науково-технічна конференція “Метрологія та вимірювальна техніка”*. Наукові праці конференції. – Т. 1. – Х.: ХДНДІМ. – 2002. – С. 55 – 57.
8. Фридман А.Э. *Теория метрологической надежности средств измерений // Измерительная техника*. – 1991. – № 11. – С. 3 – 10.

Поступила 30.04.2003

**ЧИНКОВ Виктор Николаевич**, доктор технических наук, профессор, профессор Харьковского военного университета. В 1962 году окончил ХПИ. Область научных интересов – метрологическое обеспечение вооружения и военной техники.

**ГЕРАСИМОВ Сергей Викторович**, адъюнкт ХВУ. В 1998 году окончил ХВУ. Область научных интересов – метрологическое обеспечение вооружения и военной техники.