

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

В статье разрабатываются формализованные постановки задач оптимизации процесса технического обслуживания и ремонта сложного объекта радиоэлектронной техники. Производится их анализ, определяются пути и возможности их решения.

Рассмотренные постановки задач были сформулированы как независимые оптимизационные задачи. Однако, при исследовании содержания этих функций выясняется, что для части подсистем их функции взаимосвязаны из-за общности как показателей, так и некоторых из параметров. Например, влияние процессов технического обслуживания проявляется в улучшении показателей безотказности объекта радиоэлектронной техники, что в результате приводит к уменьшению в потребности запасных частей и элементов.

Ключевые слова: объект, радиоэлектронная техника, техническое обслуживание, ремонт, система технического обслуживания.

Вступление. Процесс технического обслуживания и ремонта (ТОиР) сложных объектов радиоэлектронной техники (РЭТ) предназначается для обеспечения требуемого уровня их надежности на протяжении всего периода эксплуатации. От того, насколько оптимально (рационально) организован процесс ТОиР, зависит эффективность применения объектов РЭТ по назначению. Содержание процесса ТОиР зависит от степени сложности объекта, конструктивных особенностей и элементного состава, от наличия и степени развитости встроенной системы технического диагностирования (СТД), от предназначения объекта и режимов его применения. При всем при этом, можно определить следующие всегда входящие в него главные составляющие:

- техническое обслуживание (ТО);
- ремонт (текущий и плановый);
- обеспечение ТО и ремонта запасными элементами (ЗИП).

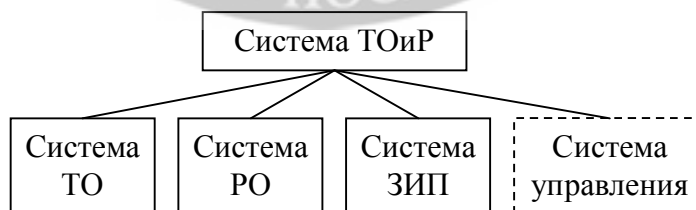


Рис. 1. Структура системы ТОиР

Процесс ТОиР осуществляется системой ТОиР, под которой понимается совокупность взаимосвязанных средств, документации и исполнителей, необходимых для поддержания требуемого уровня надежности объектов РЭТ [1]. Элементами (подсистемами) системы ТОиР являются: система ТО, система ремонтных органов (РО), система складов (ЗИП) и система управления. Систему управления в рамках данной статьи рассматривать не будем. Структура системы ТОиР схематически изображена на рис. 1. Элементы подсистем могут пересекаться территориально и функционально. В частности, в РО может иметься свой ЗИП

(ремонтный), или, один и тот же РО может использоваться как для ремонта, так и для выполнения некоторых видов ТО.

Каждая из подсистем ТООР характеризуется своими параметрами, определяющими ее функциональные возможности. Параметры эти должны определяться на этапе проектирования объекта РЭТ, когда определяются состав и конструкция объекта, определяются характеристики встроенной СТД. Это необходимо потому, что только на этапе проектирования можно внести изменения в конструкцию объекта, которые в будущем должны способствовать улучшению технологичности процессов ТООР.

В настоящей статье формулируются возможные постановки задач оптимизации параметров системы ТООР, которые целесообразно решать на завершающих стадиях разработки объекта РЭТ.

Изложение основного материала. Прежде чем вводить параметры, описывающие подсистемы ТООР, определим параметры, которыми представляется объект РЭТ. Объект РЭТ будем характеризовать тремя обобщенными параметрами: Б – параметры безотказности; В – параметры ремонтпригодности (восстанавливаемости) и С – параметры стоимости. Содержание этих параметров определим следующим образом:

$$\hat{A} = \left\langle S, \left\{ \langle z_i, \mu_i, \nu_i \rangle, i = \overline{1, |E_a|} \right\} \right\rangle, \quad (1)$$

где S – параметр, определяющий надежность структуру объекта (схему надежностного соединения элементов); $\langle z_i, \mu_i, \nu_i \rangle$ – параметры, определяющие свойство безотказности отдельных элементов (z_i – номер закона распределения наработки до отказа i -го элемента; μ_i – средняя наработка до отказа; ν_i – коэффициент вариации наработки до отказа); E_1 – множество конструктивных элементов, входящих в структурную схему надежности объекта.

$$\hat{A} = \left\langle \tau_{\text{эон}}, \tau_{\text{н}}, \left\{ \langle \tau_{\text{за}i}, \tau_{\text{то}i} \rangle, i = \overline{1, |E_1|} \right\} \right\rangle, \quad (2)$$

где $\tau_{\text{эон}}$ – продолжительность контроля технического состояния объекта; $\tau_{\text{н}}$ – среднее время поиска неисправности ($\tau_{\text{эон}}$ и $\tau_{\text{н}}$ – это характеристики встроенной СТД); $\tau_{\text{за}i}$ – среднее время замены i -го элемента; $\tau_{\text{то}i}$ – средняя продолжительность операции ТО i -го элемента¹.

$$C = \left\langle C_{\text{эон}}, C_{\text{н}}, \left\{ \langle C_{0i}, C_{\text{за}i}, C_{\text{то}i} \rangle, i = \overline{1, |E_1|} \right\} \right\rangle, \quad (3)$$

где $C_{\text{эон}}$ – стоимость операции контроля; $C_{\text{н}}$ – стоимость операции поиска неисправности; C_{0i} – стоимость i -го элемента; $C_{\text{за}i}$ и $C_{\text{то}i}$ – стоимость операций замены и ТО i -го элемента.

Для формального описания подсистем ТООР введем обобщенные параметры $P_{\text{б}i}$, $P_{\text{в}i}$ и $P_{\text{с}i}$. Содержание этих параметров может быть следующее.

Параметр $P_{\text{б}i}$ имеет различное содержание в зависимости от выбранной стратегии ТО. Например, в случае стратегии ТО «по ресурсу» параметр $P_{\text{б}i}$ можно определить следующим образом:

$$P_{\text{б}i} = \left\langle \langle E_{\text{б}i}, T_{\text{б}i} \rangle, i = \overline{1, N_{\text{б}i}} \right\rangle, \quad (4)$$

где $E_{\text{б}i}$ – подмножество элементов, которые обслуживаются при ТО i -го вида; $T_{\text{б}i}$ – периодичность проведения ТО i -го вида; $N_{\text{б}i}$ – число видов ТО ($E_{\text{б}i} \subset E_1$).

Параметр $P_{\text{в}i}$ определим следующим образом:

$$P_{\text{в}i} = \left\langle n_{\text{в}i}, \tau_{\text{в}i}, C_{\text{в}i}, \left\langle z_{\text{в}i}, \tau_{\text{в}i}, \sigma_{\text{в}i} \right\rangle \right\rangle, \quad (5)$$

¹ Этот параметр задается только для обслуживаемых элементов.

где $n_{\delta i}$ – число каналов ремонта (число объектов, которое может одновременно обслуживаться данным РО); $\tau_{\delta i \bar{a}}$ – административное время РО (время подготовки РО к выполнению ремонтных работ, включая, возможно, время передислокации); $C_{\delta i}$ – средняя стоимость одного ремонта; $\langle z_{\delta i}, \tau_{\delta i}, \sigma_{\delta i} \rangle$ – параметры закона распределения продолжительности ремонта в РО (номер закона, математическое ожидание, среднеквадратическое отклонение).

Параметр $P_{\text{цєї}}$ определим в виде следующей тройки:

$$P_{\text{цєї}} = \langle Z_1, Z_2, Z_3 \rangle, \quad (6)$$

где Z_1, Z_2 и Z_3 – параметры ЗИП (складов) различных уровней. Смысл этих параметров, например, может быть следующим: Z_1 – одиночный ЗИП, придаваемый объекту РЭТ; Z_2 – ЗИП, придаваемый РО; Z_3 – ЗИП центрального склада.

Содержание параметров Z_1, Z_2 и Z_3 определим однотипно:

$$Z_j = \langle \tau_{\bar{a} \text{цєї } j}, C_{\text{цєї}}(\bar{X}_j), K_{\bar{a} \text{цєї}}(\bar{X}_j) \rangle, \quad (7)$$

где $\tau_{\bar{a} \text{цєї } j}$ – средняя продолжительность доставки элементов из ЗИП j -го предназначения; $C_{\text{цєї}}(\bar{X}_j)$ – стоимость j -го ЗИП; $K_{\bar{a} \text{цєї}}(\bar{X}_j)$ – коэффициент готовности j -го ЗИП [2], где $\bar{X}_j = \{x_i; i = \overline{1, |E_i|}\}$ – вектор, определяющий состав ЗИП, в котором x_i – количество элементов i -го типонамала, имеющиеся в ЗИП ($j = \overline{1, 3}$).

Очевидно, что состав ЗИП изменяется в процессе эксплуатации. Не вдаваясь в подробности возможных стратегий пополнения ЗИП, примем допущение, что в процессе эксплуатации поддерживается некоторый средний состав ЗИП, для которого определены параметры $C_{\text{цєї}}$ и $K_{\bar{a} \text{цєї}}$, входящие в (7).

Для оценки качества процессов ТОиР будем использовать стандартные показатели надежности [3]:

T_0 – средняя наработка на отказ объекта;

$T_{\bar{a}}$ – среднее время восстановления;

$K_{\bar{a}}$ – коэффициент готовности;

$K_{\text{ти}}$ – коэффициент технического использования,

и показатель стоимостных затрат:

$c_{\text{уд}}$ – средняя удельная стоимость эксплуатации объекта.

В самом общем виде постановка задачи оптимизации процессов ТОиР может быть сформулирована следующим образом: требуется найти оптимальные значения параметров процесса ТОиР, при которых бы выполнялись следующие условия (требования):

$$\begin{aligned} T_0(\hat{A}, \hat{A}, \mathbf{P}^*) &\rightarrow \max ; \\ T_{\bar{a}}(\hat{A}, \hat{A}, \mathbf{P}^*) &\rightarrow \min ; \\ K_{\bar{a}}(\hat{A}, \hat{A}, \mathbf{P}^*) &\rightarrow \max ; \\ K_{\delta \bar{a}}(\hat{A}, \hat{A}, \mathbf{P}^*) &\rightarrow \max ; \\ c_{\delta \bar{a}}(\hat{A}, \hat{A}, \mathbf{P}^*) &\rightarrow \min , \end{aligned} \quad (8)$$

где \hat{B}, \hat{V} и \hat{C} – параметры объекта РЭТ;

\mathbf{P}^* – оптимальные значения параметров ТОиР ($\mathbf{P}^* = P_{\delta i}^* \cup P_{\delta i}^* \cup P_{\text{цєї}}^*$).

Очевидно, что в такой общей постановке задача остается полностью неопределенной и условия (8) можно рассматривать просто как формальное представление лозунга «за все

хорошее». В терминах теории исследования операций совокупность условий (8) является формальным описанием цели операции, заключающейся в оптимизации процесса ТОиР [4, 5]. Оперирующей стороной в данной задаче может быть как разработчик объекта РЭТ, который стремится обеспечить требования технического задания, так и заказчик (эксплуатирующая организация), который эти требования устанавливает. В обоих случаях нужно определить наилучшие для данного типа объектов РЭТ параметры процесса ТОиР P^* , которые затем должны быть приняты как нормативные на этапе эксплуатации объекта.

Далее при рассмотрении задач определения оптимальных параметров P^* параметры Б, В и С предполагаются зафиксированными.

Неопределенность постановки задачи (8) обусловлена, прежде всего, тем, что входящие в нее условия по своей сути являются противоречивыми, что, как известно, является характерным признаком многокритериальных задач оптимизации [6, 7]. С другой стороны, видно, что совокупность показателей, включенных в постановку задачи (8), является избыточной. В частности, показатель T_0 является показателем безотказности, а показатель K_a является комплексным показателем надежности, в котором одновременно учитываются свойства безотказности и ремонтпригодности. В показателе $K_{\text{дэ}}$ комплексно учитываются как свойства безотказности и ремонтпригодности, так и параметры ТО.

Далее попытаемся конкретизировать общую цель (8) для решения задач оптимизации параметров для каждой из выделенных выше подсистем ТОиР.

Для конкретизации цели (8) весьма важно учитывать предназначение объекта РЭТ и предполагаемые режимы его применения. Например, для объектов РЭТ высокой ответственности наибольшую важность приобретают показатели безотказности и готовности, поэтому для таких объектов целесообразно задать некоторые граничные требования для показателей $T_0^{\text{дд}}$ или $K_a^{\text{дд}}$, и минимизировать (или максимизировать) менее важные показатели. С учетом этого для определения оптимальных параметров $P_{\text{дт}}^*$ будем рассматривать следующую постановку задачи:

$$\begin{aligned} T_0(\hat{A}, \hat{A}, P_{\text{дт}}^*) &\geq T_0^{\text{дд}}; \\ K_{\text{дэ}}(\hat{A}, \hat{A}, P_{\text{дт}}^*) &\rightarrow \max; \\ c_{\text{дд}}(\hat{A}, \hat{A}, C, P_{\text{дт}}^*) &\rightarrow \min, \end{aligned} \quad (9)$$

где $T_0^{\text{дд}}$ – заданное требуемое значение средней наработки на отказ.

Предполагается, что параметры $P_{\text{дт}}$ и $P_{\text{дт}}$ в (8) зафиксированы.

Выбор показателя T_0 (а не K_a) в (9) обосновывается тем, что основным фактором влияния ТО ожидается повышение уровня безотказности объекта. В задаче (9) можно было бы использовать и показатель K_a , однако это представляется менее удобным.

Постановка задачи (9) остается многокритериальной, что создает дополнительные трудности при ее решении. Если известны особенности предназначения объекта, то возможно, один из показателей $K_{\text{дэ}}$ или $c_{\text{дд}}$ можно было бы исключить из задачи (9). Например, в случае, если для объекта весьма нежелательным является длительное пребывание его в состоянии ТО, то можно было бы исключить требование $c_{\text{дд}}(\dots) \rightarrow \min$ и, тем самым, свести задачу (9) к однокритериальной:

$$\begin{aligned} T_0(\hat{A}, \hat{A}, P_{\text{дт}}^*) &\geq T_0^{\text{дд}}; \\ K_{\text{дэ}}(\hat{A}, \hat{A}, P_{\text{дт}}^*) &\rightarrow \max. \end{aligned} \quad (10)$$

Если более критическими являются стоимостные затраты, то можно исключить требование $K_{\text{дэ}}(\dots) \rightarrow \max$ и получить такую постановку задачи:

$$T_0(\hat{A}, \hat{A}, P_{\text{дт}}^*) \geq T_0^{\text{дд}};$$

$$c_{\text{оа}}(\hat{A}, \hat{A}, C, P_{\text{оі}}^*) \rightarrow \min . \quad (11)$$

В случае если РО участвуют в проведении ТО, постановка задачи определения оптимальных параметров $P_{\text{оі}}^*$ имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} K_{\text{а}}(\hat{A}, \hat{A}, P_{\text{оі}}^*) &\geq K_{\text{а}}^{\text{од}} ; \\ K_{\text{оэ}}(\hat{A}, \hat{A}, P_{\text{оі}}^*) &\rightarrow \max ; \\ c_{\text{оа}}(\hat{A}, \hat{A}, C, P_{\text{оі}}^*) &\rightarrow \min , \end{aligned} \quad (12)$$

где $K_{\text{а}}^{\text{од}}$ – требуемое значение коэффициента готовности.

Задачу (12) так же, как и задачу (9), при определенных условиях можно свести к однокритериальному виду по аналогии с (10) или (11).

Если РО не привлекаются для проведения ТО, то вместо задачи (12) следует решать задачу:

$$\begin{aligned} T_{\text{а}}(\hat{A}, \hat{A}, P_{\text{оі}}^*) &\leq T_{\text{а}}^{\text{од}} ; \\ c_{\text{оа}}(\hat{A}, \hat{A}, C, P_{\text{оі}}^*) &\rightarrow \min , \end{aligned} \quad (13)$$

где $T_{\text{а}}^{\text{од}}$ – заданное ограничение на время восстановления объекта.

Основным показателем, на который оказывают влияние параметры подсистемы ЗИП, является продолжительность простоя объекта в неработоспособном состоянии. С учетом этого постановка задачи оптимизации параметров $P_{\text{зеп}}^*$ должна иметь следующий вид:

$$\begin{aligned} T_{\text{а}}(\hat{A}, \hat{A}, P_{\text{зеп}}^*) &\leq T_{\text{а}}^{\text{од}} ; \\ c_{\text{оа}}(\hat{A}, \hat{A}, C, P_{\text{зеп}}^*) &\rightarrow \min . \end{aligned} \quad (14)$$

Выводы. Каждая из предложенных выше постановок задач является сложной оптимизационной задачей, требующей для ее решения разработки математических моделей процессов ТОиР, с помощью которых можно было бы получать зависимости показателей (8) от соответствующих параметров. Поскольку построение аналитических математических моделей в данном случае вряд ли представляется возможным, для построения моделей в данном случае, по-видимому, следует использовать метод имитационного статистического моделирования [8, 9]. Очевидные трудности при решении рассмотренных задач связаны так же со сложностью (множественностью) как оптимизируемых параметров $P_{\text{оі}}^*$, $P_{\text{зеп}}^*$ и $P_{\text{зеп}}^*$, так и параметров объекта РЭТ Б, В и С.

Рассмотренные постановки задач были сформулированы как независимые оптимизационные задачи, что внешне выглядит вполне логично, так как у каждой из подсистем ТОиР свои функции. Однако при внимательном исследовании содержания этих функций выясняется, что для части подсистем их функции взаимосвязаны из-за общности как показателей, так и некоторых из параметров. Например, влияние процессов ТО, как уже отмечалось, проявляется в улучшении показателей безотказности объекта РЭТ, что в результате приводит к уменьшению в потребности ЗИП. Следовательно, оптимальные параметры $P_{\text{зеп}}^*$ очевидным образом зависят от выбора параметров $P_{\text{оі}}^*$. Или, другой пример. Если РО могут привлекаться как для выполнения ТО, так и для проведения текущего ремонта, то задачи определения оптимальных параметров $P_{\text{оі}}^*$ и $P_{\text{зеп}}^*$ не могут рассматриваться независимо. Эти вопросы в настоящее время, к сожалению, мало исследованы.

В качестве примера решения отдельных из рассмотренных задач оптимизации процессов ТОиР можно привести предложенные в работах [10, 11] модели и методики оптимизации параметров процессов ТО.

ЛИТЕРАТУРА:

1. ГОСТ 18322-78. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения. Введ. с 01.01.1980.

2. Черкесов Г. Н. Надежность аппаратно-программных комплексов. Учебное пособие. – СПб.: Питер, 2005. – 479 с.
3. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. Введ. с 01.07.1990.
4. Вентцель Е. С. Исследование операций: задачи, принципы, методология. – М.: Наука, 1980. – 208 с.
5. Гермейер Ю. Б. Введение в теорию исследования операций. – М.: Наука, 1971. – 283 с.
6. Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем. Михалевиц В. С., Волкович В. Л. – М.: Наука, 1982. 286 с.
7. Брахман Т. Р. Многокритериальность и выбор альтернативы в технике. – М.: Радио и связь, 1984. – 288 с.
8. Бусленко Н. П. Моделирование сложных систем. М.: Наука, 1978. – 400 с.
9. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство или наука: Пер. с англ. – М.: Мир, 1978. – 418 с.
10. Ленков С. В., Цыцарев В. Н., Банзак Г. В. Моделирование и оптимизация процесса технического обслуживания по ресурсу сложных технических объектов // Вісник інженерної академії України. – 2011. – № 3–4. – С. 94–100.
11. Банзак Г. В., Цыцарев В. Н. Методика определения оптимальных параметров технического обслуживания “по состоянию” с постоянной периодичностью контроля // Вісник Хмельницького національного університету. – Хмельницький, 2011. – № 4. – С. 45–50.

д.т.н., проф. **Ленков С.В.**, к.т.н., доц. **Браун В.О.**, к.т.н., доц. **Осипа В.О.**,
Березовська Ю.В., к.військ.н., доц. **Пашков С.О.**, к.т.н., доц. **Цыцарев В.М.**

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ Й РЕМОНТУ СКЛАДНИХ ОБ'ЄКТІВ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ

У статті розробляються формалізовані постановки задач оптимізації процесу технічного обслуговування і ремонту складного об'єкта радіоелектронної техніки. Проводиться їх аналіз, визначаються шляхи та можливості їх вирішення.

Розглянуті постановки задач були сформульовані як незалежні оптимізаційні задачі. Однак, при дослідженні змісту цих функцій з'ясовується, що для частини підсистем їх функції взаємопов'язані через спільності як показників, так і деяких з параметрів. Наприклад, вплив процесів технічного обслуговування проявляється в поліпшенні показників безвідмовності об'єкта радіоелектронної техніки, що в результаті призводить до зменшення у потребі запасних частин і елементів.

Ключові слова: об'єкт, радіоелектронна техніка, технічне обслуговування, ремонт, система технічного діагностування.

Doctor of Engineering Science, Professor **Sergey Lenkov**,
 PhD in Engineering Science, Assistant Professor **Vadim Brown, Julia Berezovska**,
 PhD in Engineering Science, Assistant Professor **Vladimir Osipa**,
 PhD in Military Science, Assistant Professor **Sergey Pashkov**,
 PhD in Engineering Science, Assistant Professor **Vadim Tsytsaryev**

PROBLEM OPTIMIZE THE PROCESS OF MAINTENANCE AND REPAIR OF COMPLEX OBJECTS ELECTRONIC ENGINEERING

The paper developed formal tasking optimize maintenance and repair of electronic equipment of a complex object. Analyzes them, are determined by the ways and opportunities to address them.

The above statement of problems have been formulated as independent optimization problems. However, the study of the content of these functions it turns out that for some of their functions are interrelated subsystems for common indicators as well as some of the options. For example, the impact of maintenance processes manifested in improving the reliability of the object of electronic equipment, which results in a reduction in the need of spare parts and components.

Keywords: object, electronic equipment, maintenance, repair and maintenance system.