

Яшанов И.М.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ В СИСТЕМАХ ЭКСПЛУАТАЦИИ НАЗЕМНЫХ СРЕДСТВ РАДИОТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Приведены аналитические соотношения для расчета численных значений параметров выполнения контрольных операций по оценке соответствия требований к системам эксплуатации для нескольких вариантов задач оптимизации заданной критериальной функции.

Ключевые слова: системы эксплуатации, надежность, радиотехническое обеспечение, оптимизация.

Постановка проблемы. Составляющими систем обслуживающего типа являются технологические процессы (ТП) и отдельные технологические операции (ТХО), предназначенные для выполнения работ и предоставления услуг в сфере технического обслуживания и ремонта средств радиотехнического обеспечения (СРТО), обработки информации, принятие решений, формирование экспертных оценок и т.д. В этих системах одним из важных есть процесс поиска элемента, который не отвечает установленным требованиям. Например, в системах технического обслуживания и ремонта такие ТП решают задачи выявления оборудования, которое отказало.

При обосновании и модернизации отдельных ТП или отдельных ТХО, а также систем эксплуатации в целом можно выделить два типа задач – прямую и обратную. При решении прямой задачи рассчитывают численные значения показателей эффективности альтернативных вариантов объектов разработки при заданных значениях параметров ТП или отдельных ТХО. Далее в соответствии с заданным критерием выбирают наилучший вариант. При решении обратной задачи для заданного уровня численного значения обобщенного показателя эффективности всего ТП или отдельных ТХО определяют оптимальные значения параметров объектов проектирования.

В действующих нормативных документах и научно-технической литературе при оценке эффективности ТП как правило рассчитывают показатели эффективности в виде математического ожидания затрат ресурсов. В общем случае такой подход не совсем корректный, поскольку затраты ресурсов, параметры ТП или отдельных ТХО являются случайными величинами (СВ). Неполный учет статистических параметров изменений затрат ресурсов, параметров ТП и отдельных ТХО может привести к сбоям работы системы материально-технического обеспечения ТП, недостаточной эффективности работы всей системы обслуживающего типа. Поэтому, решая прямую задачу, при теоретических расчетах эффективности ТП, отдельных ТХО и систем эксплуатации в целом целесообразно определять плотности распределения вероятностей (ПРВ) или выполнять оценку дисперсии этих СВ и других моментов по необходимости.

Анализ последних достижений и публикаций, выделение нерешенных ранее частей. Вопросы оптимизации параметров технологических систем и процессов рассмотрены в работах [1-7]. При этом в работе [1] рассматривается обобщенный подход к решению обратной задачи по оптимизации параметров систем эксплуатации СРТО.

Формулировка целей статьи (постановка задачи). В статье рассматривается один из важных процессов эксплуатации СРТО – процесс текущего ремонта. Целью статьи является решения обратной задачи, которая заключается в нахождении аналитических соотношений

для расчета численных значений математического ожидания и дисперсии длительности текущего ремонта при использовании критерия эффективности в виде суммарной длительности текущего ремонта. Решение обратной задачи выполняется с учётом наличия ошибок первого и второго рода при контроле определяющих параметров объекта диагностирования.

Изложение основного материала исследования с обоснованием полученных научных результатов. При текущем ремонте на первом этапе определяют отказавший элемент в СРТО с использованием программы диагностирования (ПД). Эта программа определяет порядок проведения отдельных технологических операций контроля соответствия значений определяющих параметров (ОП) установленным требованиям. Далее в процессе текущего ремонта выполняют работы по замене несоответствующего элемента объекта и контролю работоспособности объекта в целом. При решении обратной задачи необходимо знать: структуру исходного объекта текущего ремонта в виде его диагностической модели (ДМ); вид ПД; вероятности отказов элементов объекта текущего ремонта; уровни затрат ресурсов на реализацию ПД. Исходный объект, который содержит несоответствующий элемент, определяют как объект текущего ремонта (ОТР).

Рассмотрим обобщенный подход к решению обратной задачи определения параметров текущего ремонта ОТР, когда при оценке соответствия ОП возможны ошибки первого и второго рода. Пусть имеем некоторый ОТР, который состоит из n структурных элементов. Для этого объекта известны ДМ и ПД. Пусть ДМ состоит из m иерархических уровней операций оценки соответствия, где $m \leq n - 1$. Для решения обратной задачи определяется полная группа параметров (вектор вероятностей ошибок первого и второго рода $\vec{\alpha}$ и $\vec{\beta}$ соответственно, векторы длительности операций по оценке соответствия \vec{t}_k , операций замены несоответствующих элементов $\vec{t}_{3.E}$ и т.п.), которые используются для определения того или иного показателя эффективности процесса текущего ремонта. Один или несколько параметров определяются как оптимизируемые. Вариантами критерия эффективности может быть минимум или максимум некоторого оптимизируемого параметра, либо значение, которое не превышает заведомо заданный уровень, при фиксации других параметров. Для удобства и упрощения задачи принимаем условие, что все параметры ТХО для контроля соответствия i -го ОП установленным требованиям, замены i -го элемента ДМ являются одинаковыми – $\alpha_i = \alpha$; $\beta_i = \beta$; $t_{k_i} = t_k$; $t_{3.E_i} = t_{3.E} \quad \forall i \in (0; m)$.

При решении обратной задачи можно использовать такие показатели эффективности текущего ремонта, как: 1) $m_1(t_{np})$ – математическое ожидание продолжительности текущего ремонта t_{np} ; 2) $\mu_2(t_{np})$ – дисперсия продолжительности текущего ремонта t_{np} ; 3) пороговый уровень затрат ресурсов – $m_1(t_{np}) + K \cdot \sigma(t_{np})$ (где K – некоторый постоянный коэффициент; $\sigma(t_{np})$ – среднее квадратичное отклонение продолжительности текущего ремонта t_{np}).

В [1] обратная задача решалась в рамках показателя эффективности $m_1(t_{np})$ и условия, что оптимизации подлежат параметры α , β и t_k . Для заданного вида ДМ и ПД можно установить зависимость

$$m_1(t_{np}) = f(\alpha, \beta, t_k).$$

При этом рассматривались семь вариантов решения обратной задачи: оптимизация по α ; оптимизация по β ; оптимизация по t_k ; оптимизация по α, β ; оптимизация по α, t_k ; оптимизация по β, t_k ; оптимизация по α, β и t_k . Можно показать, что если ПД имеет m иерархических уровней операций оценки соответствия ОП установленным требованиям, то данную функцию можно представить полиномом m -ой степени относительно α с известными коэффициентами (поскольку β и t_k считаем известными), т.е.:

$$f(\alpha, \beta, t_k) = a_m(\beta, t_k)\alpha^m + a_{m-1}(\beta, t_k)\alpha^{m-1} + \dots + a_1(\beta, t_k)\alpha + a_0(\beta, t_k). \quad (1)$$

При этом оптимальные значения одного из параметров α и β при известных двух оставшихся можно найти традиционными методами.

Для случая оптимизации по t_k функция $f(\alpha, \beta, t_k)$ будет иметь линейный, поэтому оптимизация по t_k для случая нахождения минимума $m_1(t_{np})$ невозможна. Такой же вывод можно сделать при оптимизации по (α, t_k) , по (β, t_k) и (α, β, t_k) .

Рассмотрим пример решения обратной задачи, когда объект текущего ремонта включает четыре элемента (E_1, E_2, E_3, E_4), соединенных на рисунке последовательно.

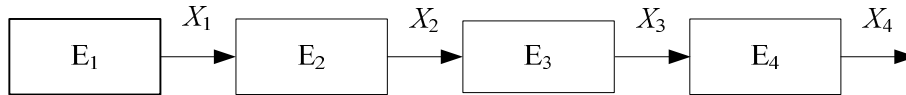


Рис.1. Пример объекта текущего ремонта

На рис.1 параметр X_i используется для оценки соответствия ОП i -го элемента ОТР установленным требованиям. Считаем, что в общем случае X_i может иметь составные элементы x_i , каждый из которых проверяют на соответствие требованиям. Если хотя один элемент x_i не отвечает требованиям, то ОП X_i также не отвечает требованиям. Допустим, что в ОТР может быть лишь один несоответствующий элемент и события возникновения несоответствий элементов являются независимыми. Несоответствие ОП X_i требованиям зависит от отказа i -го элемента ОТР или обусловлено несоответствием требованиям ОП предшествующих элементов.

Можно показать, что если ПД состоит в последовательной проверки ОП $X_1 - X_3$, и показателем эффективности является математическое ожидание продолжительности текущего ремонта $m_1(t_k, \alpha, \beta)$, то оптимальный параметр α находят из соотношения

$$\alpha_{\min} = \frac{a_1(\beta, t_k, t_{3.E}, t_{K.P.O})}{a_2(\beta, t_k, t_{3.E}, t_{K.P.O})},$$

$$a_1(\beta, t_k, t_{3.E}, t_{K.P.O}) = Q_2(1 - \beta)(m_1(t(HTO_1/S_2))) - m_1(t(HTO_2/S_2)) + Q_3(m_1(t(HTO_2/S_3))) - (1 - \beta)m_1(t(HTO_3/S_3)) - \beta m_1(t(HTO_4/S_3)) + Q_4(m_1(t(HTO_2/S_4))) + m_1(t(HTO_3/S_4)) + 2m_1(t(HTO_4/S_4));$$

$$a_2(\beta, t_k, t_{3.E}, t_{K.P.O}) = 2Q_3(m_1(t(HTO_1/S_3))) - m_1(t(HTO_2/S_3)) + 2Q_4(m_1(t(HTO_1/S_4))) - m_1(t(HTO_2/S_4)) - m_1(t(HTO_3/S_4)) + m_1(t(HTO_4/S_4)).$$

Оптимизация по β выполняется аналогичным образом.

Рассмотрим случай оптимизации при использовании показателя эффективности в виде дисперсии длительности текущего ремонта $\mu_2(t_{np})$. Как и в случае математического ожидания оптимизация осуществляется по параметрам α , β и t_k . В общем случае:

$$\mu_2(t_{np}) = f(\alpha, \beta, t_k, m_1(t_{np})).$$

Для примера ОТР, рассмотренного выше, в общем виде имеем:

$$\mu_2(t_k, t_{3e}, t_{KPO}, \alpha, \beta) = \frac{1}{16} \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 (m_1(t(HTO_j / S_i)) - m_1(t_k, t_{3e}, t_{KPO}, \alpha, \beta))^2.$$

Выполним одномерную оптимизацию при использовании показателя α . Выражение для $\mu_2(t_k, t_{3e}, t_{KPO}, \alpha, \beta)$ примет вид

$$\begin{aligned} \mu_2(t_k, t_{3e}, t_{KPO}, \alpha, \beta) &= \frac{1}{16} ((2t_k + (t_{3e} + t_{KPO}) - m_1(t_k, t_{3e}, t_{KPO}, \alpha, \beta))^2 + 3(2t_k + 2(t_{3e} + t_{KPO}) - \\ &- m_1(t_k, t_{3e}, t_{KPO}, \alpha, \beta))^2 + (2t_k + 2(t_{3e} + t_{KPO}) - m_1(t_k, t_{3e}, t_{KPO}, \alpha, \beta))^2 + (2t_k + (t_{3e} + t_{KPO}) - \\ &- m_1(t_k, t_{3e}, t_{KPO}, \alpha, \beta))^2 + 2(2t_k + 3(t_{3e} + t_{KPO}) - m_1(t_k, t_{3e}, t_{KPO}, \alpha, \beta))^2 + 2(2t_k + 3(t_{3e} + t_{KPO}) - \\ &- m_1(t_k, t_{3e}, t_{KPO}, \alpha, \beta))^2 + (2t_k + (t_{3e} + t_{KPO}) - m_1(t_k, t_{3e}, t_{KPO}, \alpha, \beta))^2 + 4(2t_k + 4(t_{3e} + t_{KPO}) - \\ &- m_1(t_k, t_{3e}, t_{KPO}, \alpha, \beta))^2 + (2t_k + (t_{3e} + t_{KPO}) - m_1(t_k, t_{3e}, t_{KPO}, \alpha, \beta))^2) = \frac{1}{4} (2t_k + (t_{3e} + t_{KPO}) - \\ &- m_1(t_k, t_{3e}, t_{KPO}, \alpha, \beta))^2 + (2t_k + 2(t_{3e} + t_{KPO}) - m_1(t_k, t_{3e}, t_{KPO}, \alpha, \beta))^2 + (2t_k + 3(t_{3e} + t_{KPO}) - \\ &- m_1(t_k, t_{3e}, t_{KPO}, \alpha, \beta))^2 + (2t_k + 4(t_{3e} + t_{KPO}) - m_1(t_k, t_{3e}, t_{KPO}, \alpha, \beta))^2). \end{aligned}$$

Обозначим $t_1 = 2t_k$ и $t_2 = t_{3e} + t_{KPO}$, тогда

$$\begin{aligned} \mu_2(t_k, t_{3e}, t_{KPO}, \alpha, \beta) &= \frac{1}{4} ((t_1 + t_2)^2 - 2(t_1 + t_2)m_1(t_k, t_{3e}, t_{KPO}, \alpha, \beta) + (t_1 + 2t_2)^2 - \\ &- 2(t_1 + 2t_2)m_1(t_k, t_{3e}, t_{KPO}, \alpha, \beta) + (t_1 + 3t_2)^2 - 2(t_1 + 3t_2)m_1(t_k, t_{3e}, t_{KPO}, \alpha, \beta) + \\ &+ (t_1 + 4t_2)^2 - 2(t_1 + 4t_2)m_1(t_k, t_{3e}, t_{KPO}, \alpha, \beta) + 4m_1^2(t_k, t_{3e}, t_{KPO}, \alpha, \beta) = \\ &= \frac{1}{4} (4t_1^2 + 20t_1t_2 + 30t_2^2 - 8t_1m_1(t_k, t_{3e}, t_{KPO}, \alpha, \beta) - 20t_2m_1(t_k, t_{3e}, t_{KPO}, \alpha, \beta) + \\ &+ 4m_1^2(t_k, t_{3e}, t_{KPO}, \alpha, \beta)) = t_1^2 + 5t_1t_2 + 7,5t_2^2 - (2t_1 + 5t_2)m_1(t_k, t_{3e}, t_{KPO}, \alpha, \beta) + \\ &+ m_1^2(t_k, t_{3e}, t_{KPO}, \alpha, \beta). \end{aligned}$$

Обозначим $t_3 = t_1^2 + 5t_1t_2 + 7,5t_2^2$ и $t_4 = 2t_1 + 5t_2$, тогда

$$\mu_2(t_k, t_{3e}, t_{KPO}, \alpha, \beta) = t_3 - t_4 m_1(t_k, t_{3e}, t_{KPO}, \alpha, \beta) + m_1^2(t_k, t_{3e}, t_{KPO}, \alpha, \beta) \quad (2)$$

Найдем производную по α

$$\begin{aligned} \frac{\partial \mu_2(t_k, t_{3e}, t_{KPO}, \alpha, \beta)}{\partial \alpha} &= -t_4 \frac{\partial m_1(t_k, t_{3e}, t_{KPO}, \alpha, \beta)}{\partial \alpha} + 2m_1(t_k, t_{3e}, t_{KPO}, \alpha, \beta) \frac{\partial m_1(t_k, t_{3e}, t_{KPO}, \alpha, \beta)}{\partial \alpha} = \\ &= (2m_1(t_k, t_{3e}, t_{KPO}, \alpha, \beta) - t_4) \frac{\partial m_1(t_k, t_{3e}, t_{KPO}, \alpha, \beta)}{\partial \alpha} = 0. \end{aligned}$$

Как видно из (2) функция $\mu_2(t_k, t_{3e}, t_{KPO}, \alpha, \beta)$ будет иметь два экстремума, а именно

$$\begin{cases} \frac{\partial m_1(t_k, t_{3e}, t_{KPO}, \alpha, \beta)}{\partial \alpha} \Big|_{\alpha=\alpha_1^*} = 0 \\ 2m_1(t_k, t_{3e}, t_{KPO}, \alpha, \beta) - t_4 \Big|_{\alpha=\alpha_2^*} = 0 \end{cases} \quad (3)$$

Первое выражение имеет решение по формуле

$$a_2(\beta_{\text{opt}}, t_k, t_{3e}, t_{\text{к.п.о}}) \alpha_{\text{opt1}} = a_1(\beta_{\text{opt}}, t_k, t_{3e}, t_{\text{к.п.о}}).$$

Для второго выражения получим

$$2(Q_1((1-\beta)^2(t_1+t_2) + (\beta-\beta^2)(t_1+2t_2+t_1+2t_2) + \beta^2(t_1+2t_2)) + Q_2(\alpha(1-\beta)(t_1+2t_2) + (1-\beta)(1-\alpha)(t_1+t_2) + (\beta-\beta^2)(t_1+3t_2) + \beta^2(t_1+3t_2)) + Q_3(\alpha^2(t_1+3t_2) + (\alpha-\alpha^2)(t_1+3t_2) + (1-\alpha)(1-\beta)(t_1+t_2) + \beta(1-\alpha)(t_1+4t_2)) + Q_4((t_1+4t_2)(\alpha^2 + \alpha - \alpha^2 + \alpha - \alpha^2) + (1-\alpha)^2(t_1+t_2) - t_4) = 0$$

Тогда

$$2(Q_1((1-\beta)^2(t_1+t_2) + \beta(t_1+2t_2)) + Q_2(\alpha(1-\beta)(t_1+2t_2) + (1-\beta)(1-\alpha)(t_1+t_2) + \beta(t_1+3t_2)) + Q_3(\alpha(t_1+3t_2) + (1-\alpha)(1-\beta)(t_1+t_2) + \beta(1-\alpha)(t_1+4t_2)) + Q_4((2\alpha-\alpha^2)(t_1+4t_2) + (1-\alpha)^2(t_1+t_2)) - t_4 = 0.$$

Пусть

$$Q_1((1-\beta)^2(t_1+t_2) + \beta(t_1+2t_2)) + Q_2((1-\beta)(t_1+t_2) + \beta(t_1+3t_2) + Q_3(1-\beta)(t_1+t_2) + \beta(t_1+4t_2)) + Q_4(t_1+t_2) - 0,5t_4 = b_0.$$

Тогда получим

$$2(b_0 + Q_2(\alpha(1-\beta)(t_1+2t_2) - \alpha(1-\beta)(t_1+t_2)) + Q_3(\alpha(t_1+3t_2) - \alpha(1-\beta)(t_1+t_2) - \alpha\beta(t_1+4t_2)) + Q_4((2\alpha-\alpha^2)(t_1+4t_2) + (\alpha^2-2\alpha)(t_1+t_2)) = 0.$$

Обозначим

$$Q_2(1-\beta)t_2 + Q_3(2t_2 - 3t_2\beta) + Q_46t_2 = b_1, \\ -3Q_4t_2 = b_2.$$

Отсюда получим

$$b_2\alpha^2 + b_1\alpha + b_0 = 0.$$

Тогда

$$\alpha_{2,3}^* = -\frac{b_1 \pm \sqrt{b_1^2 - 4b_0b_2}}{2b_2}.$$

Поэтому, оптимизация по α будет иметь три экстремума. Оптимизация по β выполняется аналогично. Для случая оптимизации, когда показателем эффективности является пороговый уровень затрат ресурсов (с учетом математического ожидания и среднеквадратичного отклонения затрат ресурсов), схема действий аналогична рассмотренным двум предыдущим задачам оптимизации, однако при этом дополнительно возможен поиск оптимального значения параметру K .

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению. Рассмотренные материалы на примере текущего ремонта заданного объекта, в процессе которого выполняются операции оценки соответствия ОП установленным требованиям и ряд других операций, можно использовать при создании новых и модернизации действующих ТП и ТХО. Рассмотрен общий подход и получены аналитические соотношения для поиска оптимальных значений при решении обратной задачи определения параметров текущего ремонта ОТР, когда при оценке соответствия ОП возможны ошибки контроля первого и второго рода. В целом полученные результаты могут быть использованы при разработке и модернизации систем эксплуатации средств радиотехнического обеспечения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Яшанов І.М. Підходи до розв'язання зворотної задачі при оцінці відповідності встановленим нормам / І.М. Яшанов, М.Ю. Заліський, В.В. Німич // Електроніка та системи управління. – 2008. – № 1. – С. 153-157.
2. Мелкумян В. Г. Технологічні системи обслуговуючого типу. Елементи теорії проектування і прикладні задачі експлуатації / В.Г. Мелкумян – К.: НАУ, 2003. – 171 с.
3. T. Nakagawa. Maintenance theory of reliability. London: Springer-Verlag, 2005, 270 p.

-
4. D.J. Smith. Reliability, Maintainability and Risk. Practical methods for engineers. London: Elsevier, 2005, 365 p.
 5. O. Solomentsev, M. Zaliskyi, O. Zuiev. Questions of radioelectronic equipment diagnostics programs efficiency analysis. Jachranka Village, Poland: Signal Processing Symposium 2013 (SPS 2013), Proceedings, June 5-7, 2013
 6. O. Solomentsev, M. Zaliskyi, M. Asanov, O. Zuiev. Data Processing in Exploitation System of Unmanned Aerial Vehicles Radioelectronic Equipment. Jachranka Village, Poland: Signal Processing Symposium 2013 (SPS 2013), Proceedings, June 5-7, 2013
 7. R.E. Barlow, F. Proschan. Mathematical Theory of Reliability. New York: John Wiley and Sons, 1965.

Яшанов І.М.

ОПТИМІЗАЦІЯ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ В СИСТЕМАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ НАЗЕМНИХ ЗАСОБІВ РАДІОТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Наведено аналітичні співвідношення для розрахунку числових значень параметрів виконання контрольних операцій з оцінки відповідності вимогам в системах експлуатації для декількох варіантів задач оптимізації заданої критеріальної функції.

Ключові слова: системи експлуатації, надійність радіотехнічного забезпечення, оптимізація

Yashanov I.

OPTIMIZATION OF RELIABILITY PARAMETERS IN EXPLOITATION SYSTEMS OF GROUND BASED RADIO ELECTRONIC EQUIPMENT

It is resulted analytical parities for calculation of numerical values of parameters of performance of control operations from an estimation of conformity to requirements in systems of maintenance for several variants of problems of optimization prescribed criterial function.

Keywords: system of exploitation, reliability of radio electronic equipment, optimization.

УДК 656.71.06:629.7.08 (045)

Терещенко Л.Ю.

ПОСТРОЕНИЕ АНАЛИТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПОЛУЧЕНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРЫ ОБЪЕКТОВ КОНТРОЛЯ

Рассмотрены аналитические модели получения оптического изображения внутренней структуры объектов контроля и на их основе проанализированы изменения, которые приобретают изображения в зависимости от параметров системы визуализации и типа источников излучения

Ключевые слова: аналитические модели, объекты контроля, визуализация внутренней структуры, типы источников излучения.

Постановка проблемы. Разработчики технических средств для службы авиационной безопасности стремятся постоянно повышать эффективность этих средств. Имеется ввиду – повышение достоверности обнаружения полезных сигналов из смеси с шумами. Процесс обнаружения основан на применении статистических и фильтрационных методов обработки сигналов, а также методов электронного моделирования с использованием современных информационных технологий.